

**Korrosionsschutz von Spannstahl durch silikastaub-modifizierten  
Einpreßmörtel bei Bauwerken der Energietechnik**

**FORSCHUNGSBERICHT**

Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy

Dr.-Ing. E.-H. Ranisch

Dipl.-Ing. F. Herschelman

Braunschweig, im Juni 1991

Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln der wissenschaftlichen Forschung aus  
Kapitel 0608 Titelgruppe 74 gefördert.

## **Korrosionsschutz von Spannstahl durch silikastaub-modifizierten Einpreßmörtel bei Bauwerken der Energietechnik**

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Blatt</b>
1. Überblick	3
2. Versuchsprogramm	5
3. Ausgangsstoffe	5
3.1 Zement	5
3.2 Silikastaub	5
3.3 Zusatzmittel	6
4. Untersuchungen am Einpreßmörtel	6
4.1 Frischmörtel	6
Tauchzeiten	
Viskosität	
4.2 Festmörtel	7
Raumänderung	
Druckfestigkeit	
5. Versuchsergebnisse	7
5.1 Temperatur	7
5.2 Tauchzeiten	8
5.3 Viskosität	11
5.4 Raumänderung	13
5.5 Druckfestigkeit	13
6. Zusammenfassung	14

## 1. Überblick

In den letzten Jahren wurde immer deutlicher, welchen großen Einfluß die Qualität der Verpreßarbeiten auf die Dauerhaftigkeit von Spannbetonbauwerken ausübt. Neben einer sorgfältigen Ausführung der Verpreßarbeiten sind die Eigenschaften des Einpreßmörtels von großer Bedeutung für den Korrosionsschutz des Spannstahls und die Qualität des Verbundes. Die Aufgabe, den Hohlraum zwischen Spannelement und Hüllrohr vollkommen zu verpressen, gelang bisher sehr häufig nicht.

Die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen von Einpreßmörtel mit Silikastaub /2/ bis /5/ beziehen sich im wesentlichen auf die chemische Zusammensetzung der Hauptbestandteile Zement sowie Einpreßhilfe und Fließmittel. Auf den Zusatzstoff Silikastaub bei Einpreßmörteln wird in der Literatur nur spärlich hingewiesen; er wird dort fast nur im Zusammenhang mit (hochfestem) Beton behandelt. Ein umfangreiches Literaturverzeichnis hierzu ist in /1/ enthalten. Doch zwei Eigenschaften von Silikastaub machen ihn auch für Einpreßmörtel interessant:

- Die Kugelform verbessert die Fließeigenschaften und
- die große Oberfläche absorbiert Wasser und verhindert damit Sedimentation und Bluten.

Eigene Untersuchungen /1/ haben unter anderem ergeben, daß

- Silikastaub die Eigenschaften von Einpreßmörtel verbessert, aber stets mit einem verflüssigenden Zusatzmittel verwendet werden muß,
- Einpreßmörtel mit 5 % bis 10 % Silikaanteil hinsichtlich des Fließvermögens und der Druckfestigkeit am günstigsten zu sein scheint und

- das Fließverhalten von Einpreßmörtel mit Silikastaub mit der Rotationsviskosimetrie besser beurteilt werden kann als allein mit dem Tauchversuch.

In dieser Arbeit werden die Wirkungen verschiedener Zusatzmittel und Zusatzmitteldosierungen bei steigenden Silikastaubanteilen auf die entscheidenden Eigenschaften des Einpreßmörtels

- Fließvermögen,
- Wasserbindung
- Festigkeitseigenschaften und
- Volumenveränderungen

untersucht mit dem Ziel, eine hinsichtlich des Korrosionsschutzes der Spannglieder verbesserte Mörtelrezeptur zu finden.

Für Einpreßmörtel gilt DIN 4227 Teil 10 (E). Dort ist festgelegt, welche Eigenschaften ein Einpreßmörtel, der für das Verpressen von Hüllrohren zu verwenden ist, aufweisen muß und wie diese zu prüfen sind. Das Fließvermögen wird mit dem Eintauchgerät bestimmt. Die Fließfähigkeit muß bis zur Beendigung des Einpressens ausreichend sein. Die Tauchzeiten dürfen, unmittelbar nach der Aufbereitung des Einpreßmörtels gemessen, 30 Sekunden nicht überschreiten; 30 Minuten nach dem Abschluß des Mischens darf die Tauchzeit 80 Sekunden nicht überschreiten.

Die Versuche wurden in der Zeit zwischen Februar 1988 und Januar 1989 durchgeführt.

Das Forschungsvorhaben wurde aus Mitteln des niedersächsischen Zahlenlottos in dankenswerter Weise gefördert.

## 2. Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm sah vor, zwei verschiedene Lieferformen von Silikastaub in drei Dosierungsmengen mit 10 verschiedenen Fließmitteln und einer Einpreßhilfe zu kombinieren. Die Anlagen 1 und 2 geben einen Überblick.

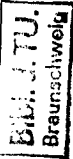
Bei allen Versuchen wurde das Fließvermögen des Einpreßmörtels durch das Eintauchgerät und mit dem Rotationsviskosimeter von Haake bestimmt. Um die Auswirkungen der untersuchten Parameter auf den Festmörtel zu beschreiben, wurden die Druckfestigkeit und die Raumänderung ermittelt.

## 3. Ausgangsstoffe

### 3.1 Zement

Einheitlich für alle Versuche wurde ein Zement PZ 45 F von Dyckerhoff, Neubeckum, verwendet.

Folgende Untersuchungen nach DIN 1164 wurden am Zement durchgeführt (Anlage 3)

- 
1. Blainewert
  2. Mahlfeinheit
  3. Erstarren
  4. Raumbeständigkeit
  5. Druckfestigkeit

### 3.2 Silikastaub

Als Silikastaub kamen ein unkompaktierter Staub (Silika 1) und eine Suspension (slurry; Silika 2) von einem Anbieter (Anlage 4) zum Einsatz. Diese Slurry ist z. Z. die einzige bauaufsichtlich zugelassene Lieferform von Silikastaub. Es wurde je

eine chemische Analyse in Anlehnung an die Prüfzeichenrichtlinie für Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff nach DIN 1045 - Fassung September 1979 - bzw. DIN 1164 durchgeführt. Für Silika 1 wurde zusätzlich das Schüttgewicht nach DIN 1060 bestimmt sowie Naßsiebungen durchgeführt.

### 3.3 Zusatzmittel

Insgesamt wurden 10 verschiedene Fließmittel und eine Einpreßhilfe verwendet. Hersteller und Firmenbezeichnung sind in Anlage 5 zusammengestellt.

## 4. Untersuchungen am Einpreßmörtel

Die Versuche umfaßten 2 Teile. Im ersten Teil wurden das Fließverhalten und das Absetzverhalten am Frischmörtel untersucht. Im zweiten Teil wurde die Raumänderung und die Druckfestigkeit am Festmörtel bestimmt. Alle Vorgänge vom Herstellen der Probekörper bis zur Prüfung wurden bei 20°C durchgeführt.

### 4.1 Frischmörtel

Hergestellt wurden die Mischungen in einem Behälter mit 32 cm Durchmesser und 39 cm Höhe. Die Dosierfolge wurde einheitlich bei allen Versuchen wie folgt ausgeführt:

Fließmittel und/oder Einpreßhilfe wurden als erstes mit dem Wasser zugegeben, Silikastaub und Zement anschließend nach und nach bei laufendem Rührwerk (Bohrmaschine mit doppelstängigem Rührwerk). Nach Beendigung des Einstreuens wurde 10 Minuten lang bei einer Drehzahl von 1600 Umdrehungen intensiv gemischt. Die Einpreßmörtel wurden in der Regel mit einem konstanten Wasserbindemittelwert  $w/(z + s)$  von 0,4 hergestellt.

Das Fließmittel wurde auf den Wassergehalt angerechnet.

Im einzelnen wurden folgende Meßgrößen ermittelt:

- Mörtel-Temperatur nach dem Mischen
- Wasserabsetzen nach Lieber /6/; nach 5, 10, 15, 20, 30, 60 und 120 Minuten sowie nach 24 Stunden wurde abgelesen, ob klares Wasser über dem Einpreßmörtel stand.
- Tauchzeiten 2, 30, 60 und 90 Minuten nach dem Mischen; in der Zeit zwischen den Tauchzeitbestimmungen wird der Einpreßmörtel mit dem gleichen Rührwerk bei einer Drehzahl von 800 Umdrehungen weiter in Bewegung gehalten.
- parallel zur Tauchzeit Viskositätskennwerte mit einem Rotationsviskosimeter vom Typ Haake MV I P mit profiliertem Zylinder und 0,96 mm Spaltbreite.

#### 4.2 Festmörtel

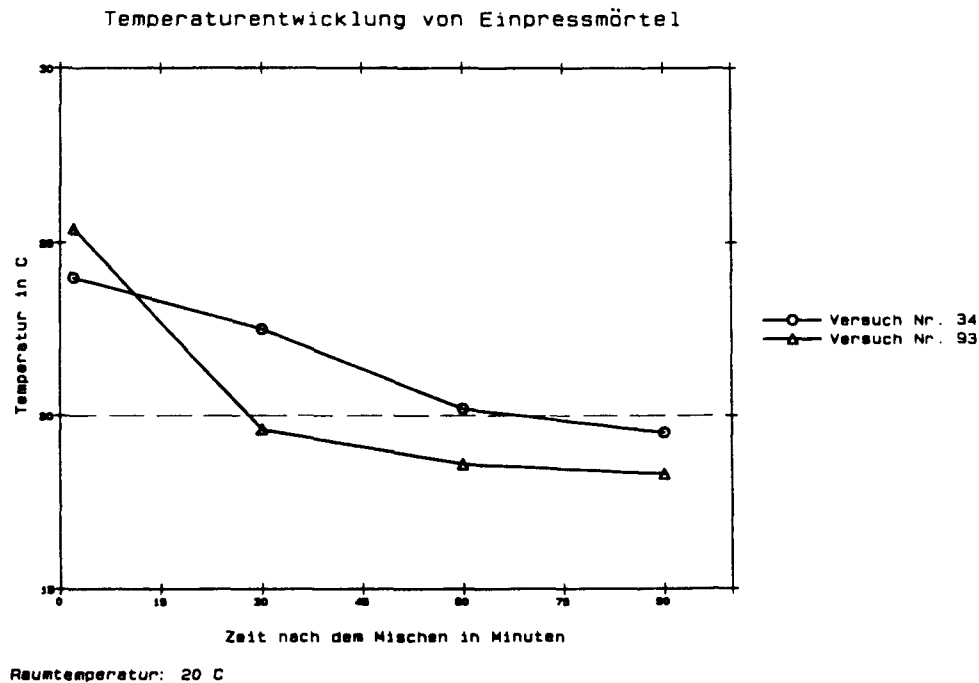
Aus den Mörtelmischungen wurden in der Regel unmittelbar nach dem Mischen oder vereinzelt nach Erreichen der vorgegebenen maximalen Tauchzeit von 80 Sekunden Proben zur Untersuchung der Raumänderung mit dem Tiefenmaß nach DIN 4227 und für Druckfestigkeitsprüfungen entnommen.

### 5. Versuchsergebnisse

#### 5.1 Ergebnisse der Temperaturmessungen

Der Verlauf der Mörteltemperatur über den Versuchszeitraum ist bis auf geringfügige Abweichungen bei allen Versuchen gleich.

Es tritt eine Temperaturerhöhung von 3°K bis 5°K über Raumtemperatur (20°C) ein. Bis zum Versuchsende - in der Regel 90 Minuten - sinkt die Mörteltemperatur um 1°K bis 2°K unter die Raumtemperatur. Beispielhaft sind Mörteltemperaturverläufe von den Versuchen 34 und 93 in folgender Skizze dargestellt.



Abhängigkeiten vom Fließmittel, Einpreßhilfe und/oder Silikastaubanteil konnten nicht festgestellt werden.

## 5.2 Tauchzeiten

### 5.2.1 Allgemeines

Die Tauchzeiten dürfen, unmittelbar nach der Aufbereitung des Einpreßmörtels gemessen, 30 Sekunden nicht unterschreiten. Längere Tauchzeiten von 40 bis 45 Sekunden sind erstrebenswert. 30 Minuten nach Abschluß des Mischens darf die Tauchzeit nach DIN 4227 Teil 10 (E) 80 Sekunden nicht überschreiten. In den Diagrammen der Anlagen sind diese Richtgrößen (30, 45 und 80 Sekunden) als strichpunktierte Linien eingetragen.



Die Ergebnisse der Versuche sind in den Anlagen 6 und 7 tabellarisch zusammengestellt.

### 5.2.2 Mörtel ohne Silikastaub

Auf Anlage 8 sind vom "Nullmörtel" - Einpreßmörtel ohne Einpreßhilfe, ohne Silikastaub mit 4 verschiedenen Fließmitteln und verschiedenen Fließmittelanteilen - die Tauchzeiten unmittelbar nach dem Mischen aufgetragen. Gleiche Zugabe von unterschiedlichen Fließmitteln bewirken teilweise große Unterschiede in den Tauchzeiten. Mit zunehmenden Fließmittelanteilen werden etwa gleiche Tauchzeiten erreicht.

Die Zugabe der Fließmittel erfolgte in Schritten von 0,5 % bezogen auf das Zementgewicht, um die Anzahl der Versuche zu begrenzen; folglich liegen die Tauchzeiten nach dem Mischen nicht immer in der angestrebten Bandbreite von 30 bis 45 Sekunden.

Trägt man nun die Tauchzeiten über die gesamte Versuchsdauer auf, so bleibt festzuhalten, daß bei erhöhten Zugaben (je nach Fließmittel 2 M.-% bis 3 M.-%) die Tauchzeiten über die gesamte Versuchsdauer von 90 Minuten relativ konstant bleiben. Demgegenüber sind bei geringen Fließmittel-Zugaben große Veränderungen der Tauchzeiten festzustellen; dies gilt besonders für das Fließmittel 10 (Anlagen 9 bis 11).

Verschiedene Fließmittel mit Dosierungsmengen von 1 - 2 % sind auf Anlage 12 gegenübergestellt. Während die Fließmittel 1 und 9 über die Zeit fast gleichgroße Tauchzeiten aufwiesen, nahmen die Tauchzeiten der Fließmittel 4 und 10 zu.

### 5.2.3 Mörtel mit Silikastaub (Silika 1)

Die Zugabe von Silika 1 bewirkt grundsätzlich eine Zunahme der Tauchzeiten bei Konstanz aller anderen Parameter. Der Fließmittelanteil muß in allen Fällen über die zulässigen Grenzwerte erhöht werden, um Tauchzeiten sofort nach dem Mischen im optimalen Bereich von 30 bis 45 Sekunden zu erreichen.

Anlage 13 weist die Fließmittel 2, 3, 5, 6, 8 und 7 schon bei 5 % Silikastaubanteil als weniger wirksam aus. In den weiteren Darstellungen werden deshalb nur noch die Fließmittel 1, 4, 9 und 10 verfolgt.

Werden die Anteile von Silika 1 erhöht, müssen auch Fließmittel bis zu 6 Masseprozent hinzugegeben werden, um Tauchzeiten sofort nach dem Mischen an den angestrebten Bereich von 45 Sekunden zu erzielen (Anlage 14 und 15).

Werden angestrebte Tauchzeiten sofort nach dem Mischen erreicht, so ist festzustellen, daß die Tauchzeiten nach 30 Minuten deutlich kleiner werden. Je nach Menge des Fließmittels steigen die Tauchzeiten über den weiteren Versuchszeitraum wieder an oder sie bleiben in der nach 30 Minuten erreichten Größenordnung (Anlagen 16 bis 19). Ab einem gewissen Fließmittelanteil wirkt sich unterschiedlicher Anteil von Silika 1 auf das Fließverhalten nicht aus (Anlage 20). Auch bei 10 % Silikastaub-Zugabe stehen Fließmittel zur Verfügung, die optimale Tauchzeiten über die ganze Versuchsdauer bewirken (Anlage 21).

Wird außer Fließmittel auch noch Einpreßhilfe zugegeben, ist eine weitere Abnahme der Tauchzeiten festzustellen (Anlage 22), außer bei Fließmittel 10 (Anlage 23).

#### 5.2.4 Mörtel mit Slurry (Silika 2)

Bei Verwendung von Silika 2 tritt ähnliches Tauchzeit-Verhalten auf wie bei Silika 1. Es wurden Tauchzeiten sofort nach dem Mischen gefunden, die im optimalen Bereich von 30 bis 45 Sekunden lagen. Dabei wurden maximal 3,8 M.-% Fließmittel bei allen 3 Silikakonzentrationen eingesetzt. Bei dem Fließmittel 1, 4 und 9 bewirken geringe Änderungen des Fließmittelanteils große Änderungen der Tauchzeiten. Das Fließmittel 10 zeigt weniger große Wirkung (Anlagen 24, 25 und 26).

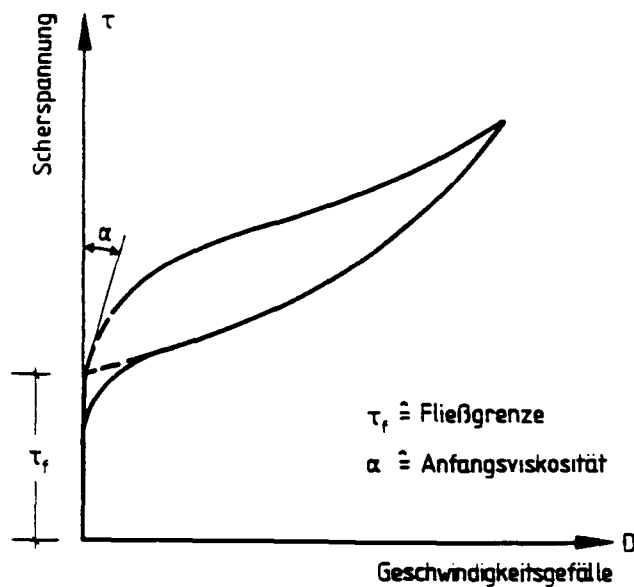
Das Fließmittel 9 bewirkt über die gesamte Versuchsdauer bei allen Anteilen von Silika 2 geringe und nahe beieinanderliegende Tauchzeiten (Anlage 27). Die Tauchzeiten der Mörtel mit Fließmittel 1 steigen nach 30 Minuten geringfügig an (Anlage 28). Trotz höherer Fließmittel-Anteile der Sorte 10 nehmen die Tauchzeiten rasch mit dem Mörtelalter zu (Anlagen 29 und 30).

Die Zugabe von Einpreßhilfe wirkt sich unterschiedlich aus. Eine wesentliche Verringerung der Tauchzeit tritt im Zusammenhang mit Fließmittel 10 auf (Anlage 31). Dagegen bewirkt das Zusammenwirken mit Fließmittel 9 eine geringe Erhöhung der Tauchzeit (Anlage 32).

Im Vergleich zu Silika 1 werden mit Silika 2 bei sonst gleichen Voraussetzungen geringere und über die Zeit fast gleichgroße Tauchzeiten erzielt (Anlage 33). Einpreßhilfe führt die Tauchzeiten zu einem schmalen Band zusammen (Anlage 34).

#### 5.3 Viskosität

Aus den gemessenen Fließkurven wurden die rheologischen Kenngrößen Fließgrenze  $\tau_f$  und die Anfangsviskosität ausgedrückt durch den Steigungswinkel  $\alpha$  bestimmt (siehe umstehendes Bild).



### Rheologische Kenngrößen

Nach Wierig /2/ reichen diese beiden Kenngrößen zur Beschreibung der Fließeigenschaften von Zementsuspension aus.

Die Ergebnisse der Viskositätsmessungen sind in den Anlagen 35 und 36 tabellarisch zusammengestellt.

Die gemessenen Werte von Anfangsviskosität und Fließgrenze werden beispielhaft auf den Anlagen 37 bis 44 - den entsprechenden Ergebnissen der Tauchzeiten ähnlich - aufgetragen.

Der Vergleich von Tauchzeiten und Viskositätskennwerten zeigt, daß sich das Ergebnis von /1/, wonach die Viskositätskennwerte auf Änderungen der Mörtelrezeptur sensibler reagierten, weniger deutlich bestätigte. Tauchzeit und Anfangsviskosität zeigten eher gegenläufige Tendenz, Tauchzeit und Fließgrenze gleichartige Tendenz.

#### 5.4 Raumänderung

Auf der Anlage 47 sind die Ergebnisse tabellarisch zusammengestellt. Die Raumänderung der "Nullmörtel" - Einpreßmörtel ohne Einpreßhilfe, ohne Silikastaub mit verschiedenen Fließmitteln und verschiedenen Fließmittelanteilen - streute von + 1,19 Vol.-% bis - 2,43 Vol.-%. Hingewiesen sei auf das Quellverhalten des Nullmörtels mit dem Fließmittel 4 bei Zugaben von etwa 2 M.-% bis 3 M.-% (siehe hierzu Anlage 48).

Die Zugabe von Silika 1 oder Silika 2 in verschiedenen Anteilen verringert das Schwinden, verhindert es aber nicht ganz (z. B. Anlage 49). Quellen wurde in diesem Zusammenhang nicht registriert (Anlage 50).

Mörtel mit positiven Absetzmaßen (Quellen) waren nur durch Zugabe von Einpreßhilfe zu erreichen (Anlage 51 und 52). Wobei mit dem Fließmittel 9 die größte Wirksamkeit hinsichtlich Quellen erzielt wurde.

Bei keinem Mörtel wurde ein Wasserabsondern oder ein Sedimentieren beobachtet.

#### 5.5 Druckfestigkeitsergebnisse

Auf Anlage 53 sind alle Druckfestigkeitsergebnisse wiedergegeben. Es wurden Druckfestigkeiten von 50 N/mm<sup>2</sup> bis 107 N/mm<sup>2</sup> ermittelt. Nullmörtel - Mörtel mit Fließmittel, ohne Silikastaub und ohne Einpreßhilfe - ergaben mit zunehmendem Fließmittel-Anteil in der Regel eine Steigerung der Druckfestigkeit (Anlage 54). Die Zugabe von Silika 1 bewirkte Festigkeitssteigerungen. Der Verlauf ist aber abhängig vom verwendeten Fließmittel sowie seiner Konzentration. Während das Fließmittel 1

mit zunehmendem Anteil stets zunehmende Festigkeiten bewirkt (Anlage 55) ist bei Anwendung von etwa 4 M.-% FM 10 ein Festigkeitsmaximum erkennbar (Anlage 56).

Auffällig ist, das mit dem Fließmittel 9 unabhängig vom Fließmittel-Anteil sowie dem Silikastaub-Anteil Festigkeiten etwa gleicher Größe erreicht werden, wobei bei 7,5 M.-% Silikastaub eine Maximum liegt. Gleiches trifft für das Fließmittel 10 zu, jedoch auf niedrigerem Niveau.

Wird Slurry anstelle von Silikastaub eingesetzt, so ergeben sich Druckfestigkeiten gleicher Größenordnung. Mit steigendem Fließmittel-Anteil nimmt die Druckfestigkeit zu (Anlage 57). Ausnahme ist das Fließmittel 9 mit keiner erkennbaren Abhängigkeit.

Die Zugabe von Einpreßhilfe bewirkt einen deutlichen Festigkeitsabfall sowohl bei Silika 1 als auch bei Silika 2 (Anlage 58).

## 6. Zusammenfassung und Folgerungen

Im Rahmen von Versuchen über die Wirkungsweise verschiedener Zusatzmittel und Zusatzmitteldosierungen bei unterschiedlichen Silikastaubanteilen im Einpreßmörtel zeigten sich folgende Ergebnisse:

- a) Die Fließmittel mußten weit über die zulässige Dosierungen hinaus zugegeben; dabei traten keine Entmischungerscheinungen auf.
- b) Die Verwendung von Silikastaub bei Einpreßmörteln bewirkt grundsätzlich eine Zunahme der Tauchzeiten. Oft ist die Tauchzeit jedoch gleich nach dem Mischen höher als in der gesamten Zeit danach.

- c) Bei entsprechender Feindosierung lassen sich Mörtelzusammensetzungen finden, die über 90 Minuten hinaus gleichbleibend niedrige Tauchzeiten aufweisen.
- d) Die Zugabe von Einpreßhilfe führt zu deutlicher Verringerung der Tauchzeiten.
- e) Es wurde bei den durchgeführten Versuchen zu keinem Zeitpunkt weder ein Wasserabsetzen noch ein Sedimentieren festgestellt.
- f) Quellen findet nur bei Zugabe von Einpreßhilfe statt.
- g) Beide Silikastäube bewirkten eine Druckfestigkeitssteigerung in der Größenordnung von etwa  $30 \text{ N/mm}^2$ .
- h) Mit steigendem Fließmittel-Anteil nimmt in der Regel die Druckfestigkeit zu.
- i) Der Einsatz von Einpreßhilfe bewirkt einen Festigkeitsabfall in der Größenordnung von etwa  $40 \text{ N/mm}^2$  auch bei Verwendung von Silikastaub.

Die Versuche insgesamt lassen folgende Mörtelrezepte brauchbar und gegenüber herkömmlichen Einpreßmörteln vorteilhaft erscheinen:

- 1 M.-% Einpreßhilfe
- 7,5 M.-% Silikastaub (unkompaktiert oder Suspension)
- 1 M.-% Fließmittel 9 oder 2 M.-% Fließmittel 1

Als Grundlage diene hierzu folgende Rangfolge

1. Raumänderung (Quellen),
2. Tauchzeit/Fließgrenze und
3. Druckfestigkeit.



## Literaturliste

- /1/ Rostásy, F.S.; Ranisch, E.-H.; Herschelmann, F.;  
IBMB, TU Braunschweig, Forschungsbericht  
Untersuchung der Eigenschaften von Einpreßmörteln  
mit Zusatz von Silikastaub (I), Juni 1987
  
- /2/ Wierig, H. J.  
Berichte vom Fachkolloquium "Zementleim,  
Frischmörtel, Frischbeton"  
Institut für Baustoffkunde, Universität Hannover,  
Oktober 1987
  
- /3/ IBAC; Jortzick  
Zulassungsprüfung des Mischproduktes "Corrocem"  
als Betonzusatzstoff nach DIN 1045  
IBAC Prüfbericht Nr. 1185/2, Feb. 1982
  
- /4/ IBAC; Jortzick  
Zulassungsprüfungen an den Mischprodukten  
"Fesil-Silica LD 10" und "Fesil-Silica LS"  
als Betonzusatzstoff nach DIN 1045  
Prüfungsbericht Nr. 1199/3, IBAC, Aachen 1982
  
- /5/ Isabelle, H.L.  
Development of a Canadian Specification for Silica  
Sec. Int. Conference: Fly Ash, Silica Fume, Slag...  
Madrid 1986, CANMET/ACI, (Editor: V. M. Malmotra), Vol. 2
  
- /6/ Lieber, W.  
Das Sedimentieren (Bluten) von Zementen; Zement-Kalk-Gips  
Nr. 11/1968
  
- /7/ Benz, G.  
Einpreßmörtel; Chemische Werke Grünau, Illertissen 1984

## Versuchsparameter

Versuch Nr.	Silika-		Fließmittel-		Einpreß- hilfe	Wasser- Bindemittelwert
-	Sorte	Anteil	Sorte	Anteil	M.-%	-
-	-	M.-%	-	M.-%	M.-%	-
1	1	5.0	1	3.0		0.43
2	1	5.0	2	3.0		0.40
3	1	5.0	1	3.0		0.40
4	1	5.0	3	3.0		0.40
5	1	5.0	4	3.0		0.40
6	1	5.0	5	3.0		0.40
7	1	5.0	6	3.0		0.40
8	1	5.0	7	3.0		0.40
9	1	5.0	8	3.0		0.40
10	1	5.0	4	4.0		0.40
11	1	5.0	7	4.0		0.40
12	1	5.0	9	0.5		0.40
13	1	5.0	9	0.4		0.40
14	1	5.0	9	2.0		0.40
15	1	5.0	9	1.5		0.40
16	1	5.0	9	1.0		0.40
17	1	5.0	9	1.0		0.40
18	1	5.0	9	0.5		0.40
19	1	5.0	9	1.0		0.40
20	1	7.5	9	1.0		0.40
21	1	5.0	4	3.0		0.40
22	1	5.0	4	3.0		0.40
23	1	7.5	1	3.0		0.40
24	1	7.5	4	4.0		0.40
25	1	7.5	4	6.0		0.40
26	1	7.5	4	6.0		0.40
27	1	7.5	1	4.0		0.40
28	1	7.5	1	3.0		0.40
29			4	1.5		0.39
30	2	5.0	4	1.8		0.39
31	2	5.0	4	2.7		0.39
32	2	10.0	4	3.8		0.39
33	2	15.0	4	4.3		0.39
34			4	3.0		0.40
35			4	2.0		0.40
36			4	1.5		0.40
37	2	5.0	4	2.7		0.39
38			10	3.0		0.42
39	1	5.0	10	2.0		0.40
40	1	7.5	10	3.0		0.40
41	1	7.5	10	4.0		0.40
42	1	7.5	10	5.0		0.40
43	1	10.0	10	5.0		0.40
44			10	1.0		0.40
45	2	5.0	10	2.0		0.40
46	2	5.0	10	3.0		0.40
47	2	7.5	10	3.0		0.40
48	2	10.0	10	3.0		0.40

## Versuchsparemeter

Versuch Nr.	Silika-		Fließmittel-		Einpreß- hilfe	Wasser- Bindemittelwert
-	Sorte	Anteil	Sorte	Anteil	M.-%	-
-	-	M.-%	-	M.-%	M.-%	-
49			10	2.0		0.400
50	1	5.0	10	3.0		0.400
51	1	10.0	10	4.0		0.400
52	1	10.0	10	2.0		0.400
53	2	10.0	10	2.0		0.400
54	2	7.5	10	3.0		0.400
55	1	10.0	1	3.0		0.400
56	1	7.5	1	3.0		0.400
57	1	7.5	1	2.0		0.400
58	1	5.0	1	2.0		0.400
59	1	5.0	1	1.0		0.400
60			1	2.0		0.400
61			1	1.0		0.400
62	1	10.0	9	1.0		0.400
63			9	1.0		0.400
64			9	0.5		0.400
65	1	10.0	9	2.0		0.400
66			10	3.0		0.400
67	2	5.0	9	1.0		0.400
68			9	0.5		0.400
69	2	7.5	9	1.0		0.400
70			9	1.0		0.400
71			1	2.0		0.400
72	2	7.5	1	2.0		0.400
73			1	2.0		0.400
74	2	10.0	9	0.5		0.400
75			10	1.0	1	0.400
76	1	5.0	10	2.0	1	0.400
77	1	5.0	10	3.0	1	0.400
78	1	7.5	10	3.0	1	0.400
79	1	10.0	10	5.0	1	0.400
80	2	5.0	10	2.0	1	0.400
81	2	7.5	10	2.0	1	0.400
82	1	10.0	10	3.0	1	0.400
83	1	5.0	1	2.0	1	0.400
84	1	7.5	1	2.0	1	0.400
85	1	10.0	1	2.0	1	0.400
86	2	2.5	1	1.0	1	0.425
87	2	5.0	1	2.0	1	0.400
88	2	7.5	1	2.0	1	0.400
89	2	10.0	1	2.0	1	0.400
90	1	5.0	9	1.0	1	0.400
91	1	7.5	9	1.0	1	0.400
92	1	10.0	9	1.0	1	0.400
93	2	5.0	9	1.0	1	0.400
94	2	7.5	9	1.0	1	0.400
95	2	10.0	9	1.0	1	0.400

Untersuchungen des verwendeten Zementes PZ 45 F der  
Firma Dyckerhoff, Neubeckum

Untersuchungsgegenstand		Versuch	Anforderung
Glühverlust	M.-%	3,13	$\leq 5,0$
davon CO <sub>2</sub>	M.-%	2,58	$\leq 2,5$
Salzsäureunlösliches	M.-%	1,38	$\leq 3,0$
Magnesium (MgO)	M.-%	1,83	$\leq 5,0$
Clorid (Cl)	M.-%	0,047	$\leq 0,1$
Sulfat (SO <sub>3</sub> )	M.-%	3,03	$\leq 4,0$
bestimmte Reindichte	g/cm <sup>3</sup>	3,091	-
Porosität des Zementbettes	Vol.-%	0,53	-
Siebrückstand 0,2	M.-%	0,00	$\leq 3,0$
spezif. Oberfl. nach Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3890	$\geq 2200$
Erstarren			
Wasserzusatz	M.-%	28,4	-
Erstarrungsbeginn	min	154	$\geq 60$
Erstarrungsende	min	221	$\leq 720$
Druckfestigkeit			
Alter (Tage)			
2		32	$\geq 20$
7	N/mm <sup>2</sup>	44	-
28		52	$\geq 45 \leq 65$
Raumbeständigkeit nach 2stündiger Kochzeit scharfkantig, rissefrei und ohne Verkrümmung (d. h. raumbeständig)			

Silikastaub

Es wurde Silikastaub in zwei Lieferformen ausgewählt, die von

Elkem GmbH  
Königsallee  
4000 Düsseldorf 1

vertrieben werden.

Von dem unkompaktierten Staub mit der Firmenbezeichnung 970 U (Silika 1) und der Suspension slurry (Silika 2) wurden folgende Bestandteile ermittelt.

Silikastaub		1	2
Bestandteil		M.-%	
Trockenmasse	(105°C)	-	50,80
Glühverlust	(105°C)	1,02	-
Kieselsäure	(SiO <sub>2</sub> )	96,59	90,43 *
Aluminiumoxid	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,04	**
Eisenoxid	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,11	0,02 *
Calciumoxid	(CaO)	0,48	0,17 *
Magnesiumoxid	(MgO)	< 0,01	0,12 *
Natriumoxid	(Na <sub>2</sub> O)	0,06	0,16 *
Kaliumoxid	(K <sub>2</sub> O)	0,22	1,55 *
Chlorid	(Cl)	0,06	0,12 *
Bleioxid	(PbO)	< 0,02	0,01 *
Zinkoxid	(ZnO)	0,01	0,01 *
Phosphat	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,06	**
Sulfat	(SO <sub>3</sub> )	0,28	0,54 *

\* bezogen auf die Trockenmasse

\*\* nicht bestimmt

Für Silika 1 wurden weitere Untersuchungen durchgeführt. Das Schüttgewicht wurde nach DIN 1060 Teil 3 ermittelt; es betrug 0,3136 kg/dm<sup>3</sup>. Die Siebanalyse (Ultraschallbadanalyse) erbrachte folgende Durchgänge:

Prüfsieb	0,063 mm	98,5 M.-%
Prüfsieb	0,09 mm	99,5 M.-%

Zusammenstellung der verwendeten Zusatzmittel bei der Herstellung von Einpreßmörtel

Firma	Produkt (PA-VII)	Wirkstoff	Berichts- bezeichnung
Betonverflüssiger (FM)			
Sika GmbH Deelböge 5 - 7 2000 Hamburg 60	Sikkament NN ohne PZ	Lignin- Sulfonat	1
Tricosol GmbH Postfach 10 630 7918 Illertissen	Multifluid FM (FM)	Naphtha- lin-Sul- fonat	2
	Acosal-Fluid 307 (BV) 8/63	Melamin- Sulfonat	3
MC-Bauchemie Postfach 230 309 4300 Essen 1	Centrament F (BV) (1/275)	Naphtha- lin-Sul- fonat Säurekon- densat	4
Heidelberger Zement Addimentwerk Rohrbacher Str. 95 6906 Leimen	Addiment BVF (1/227)	Melamin- harz	6
Woermann GmbH Wittichstr. 1 6100 Darmstadt 1	Woerment FM 20 (FM) (8/156)	Lignin- Sulfonat, Naphtha- lin-Sul- fonat, Melamin- harz	7
Sicotan GmbH + Co Mühlenschweg 5 4500 Osnabrück	Sicotan 72 (FM) (8/144)	Melamin- harz	8
SKW Trostberg Postfach 1150/1160 8223 Trostberg	Melment F 10 (BV) (1/320) (ohne PZ, mit Prüfbescheid)	Melamin Formal- dehyd	9
Masters Builders N.V. Korschenbraicher Straße 42 4050 Mönchen- gladbach 1	Rheobuild 2000 (ohne PZ)	-	10
Einpreßhilfe (EH)			
Chem. Fabrik Grünem GmbH Postfach 1063 7918 Illertissen	Tricosal 188 (6/109)	-	11

## Tauchzeiten

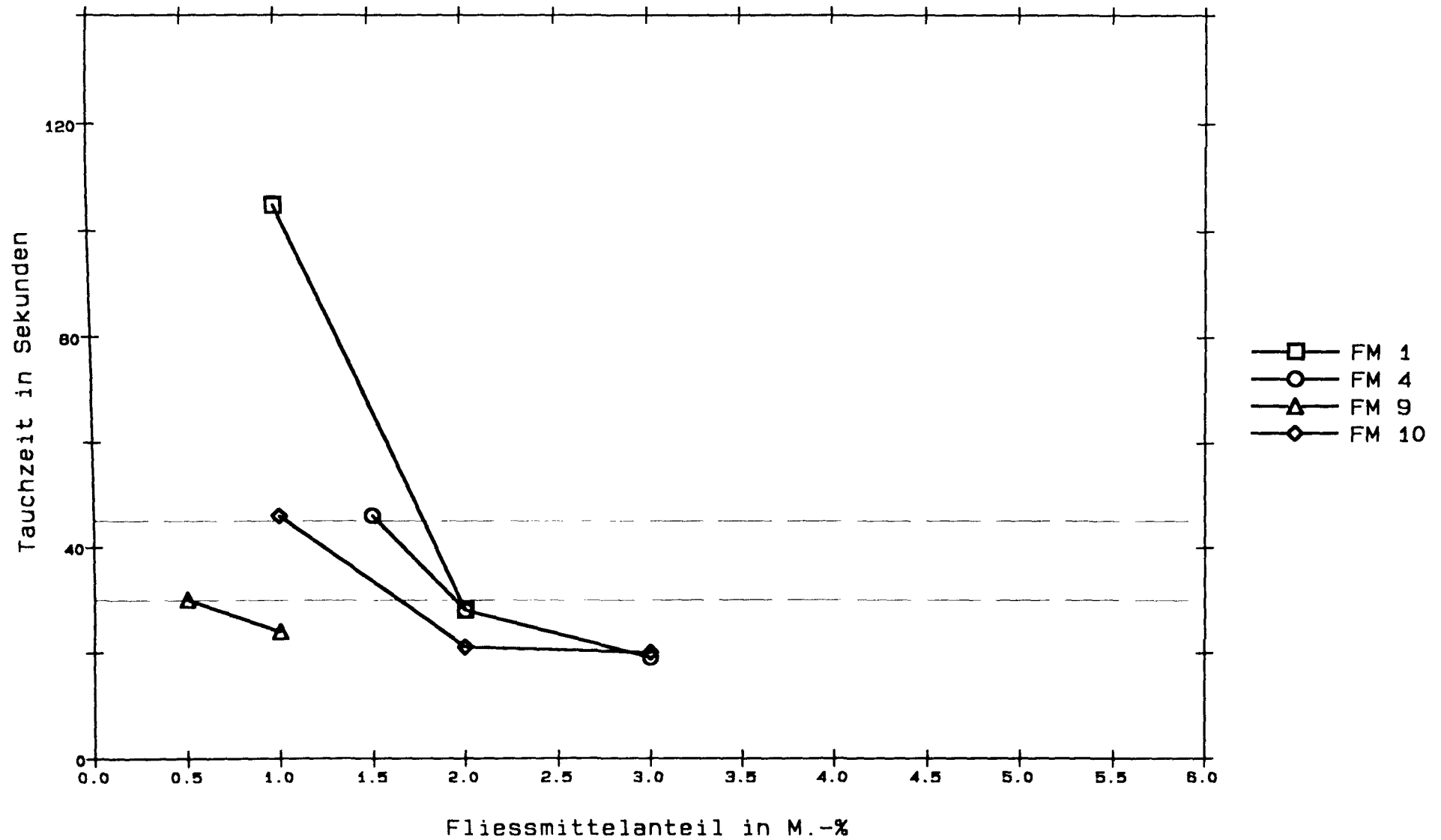
Versuch Nr.	Misch- ende	30	60	90
-	min			
1	35	32	32	
2	65			
3	40	35	35	35
4	96			
5	43			
6	53			
7	69			
8	48			
9	64			
10	39	28	28	29
11	53			
12	999			
13	103			
14	37			
15	45	20	20	20
16	50	24	24	24
17	33			
18	57			
19	33	28	26	27
20	33	32	36	41
21	55	68		
22	52	62		
23	58			
24	65			
25	50	33	29	30
26	40	32	30	33
27	41	29	28	26
28	39	30	26	27
29	26	28	30	35
30	999			
31	23	64	129	280
32	15	15	17	20
33	18	17	18	21
34	19	18	19	23
35	28	27	37	50
36	46	54	73	
37	24	29	29	49
38	19	16	17	17
39	45	35	38	43
40	49	40	45	55
41	54	40	39	40
42	55	47	42	44
43	58	45	46	49
44	46	107		
45	45	180		
46	20	20	28	58
47	23	23	35	65
48	24	23	31	46

## Tauchzeiten

Versuch Nr.	Misch- ende	30	60	90
-	min			
49	21	27	47	117
50	44	43	64	180
51	69	54	68	110
52	119			
53	50	64	111	
54	40	74	148	
55	50	39	37	39
56	45	35	32	32
57	46	39	45	54
58	36	31	34	40
59	105			
60	21	18	19	20
61	23	27	33	43
62	57	60	89	
63	24	21	23	23
64	30	31	38	48
65	54	34	33	31
66	20	20	25	35
67	17	17	18	20
68	53	100		
69	18	17	17	19
70	11	10	11	12
71	20	18	21	26
72	23	22	25	32
73	25	24	31	42
74	180			
75	40	58	81	
76	52	54	73	98
77	50	42	47	53
78	54	41	45	49
79	75	58	56	57
80	24	25	35	43
81	32	46	81	
82	32	26	29	33
83	28	21	20	21
84	32	24	24	24
85	52	28	27	29
86	23	31	46	63
87	26	21	24	27
88	30	23	24	25
89	35	24	26	26
90	29	24	23	24
91	36	24	24	25
92	59	37	38	39
93	21	20	22	22
94	21	20	21	22
95	25	23	24	29

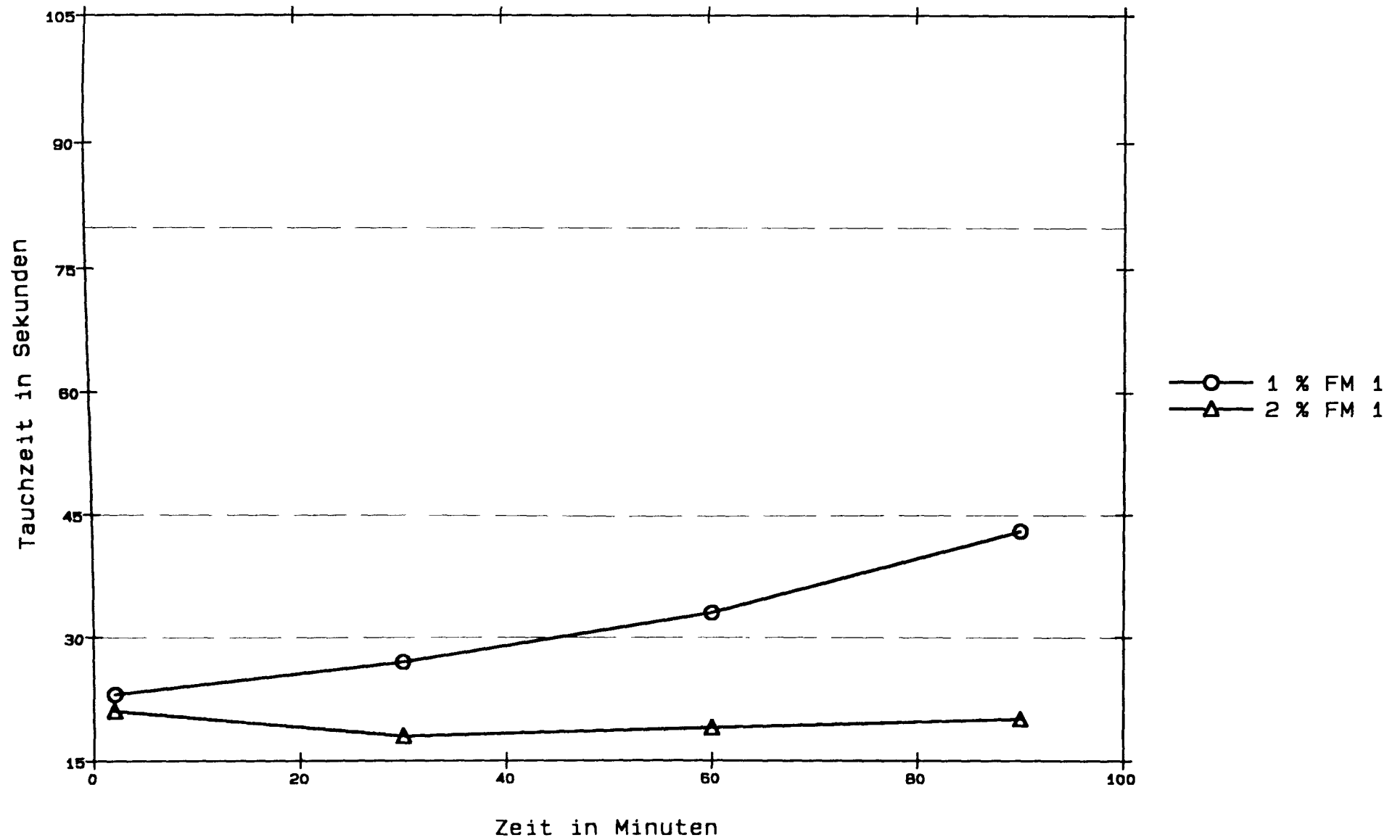


Auswirkungen verschiedener FM und deren Anteile  
auf die Tauchzeit sofort nach dem Mischen



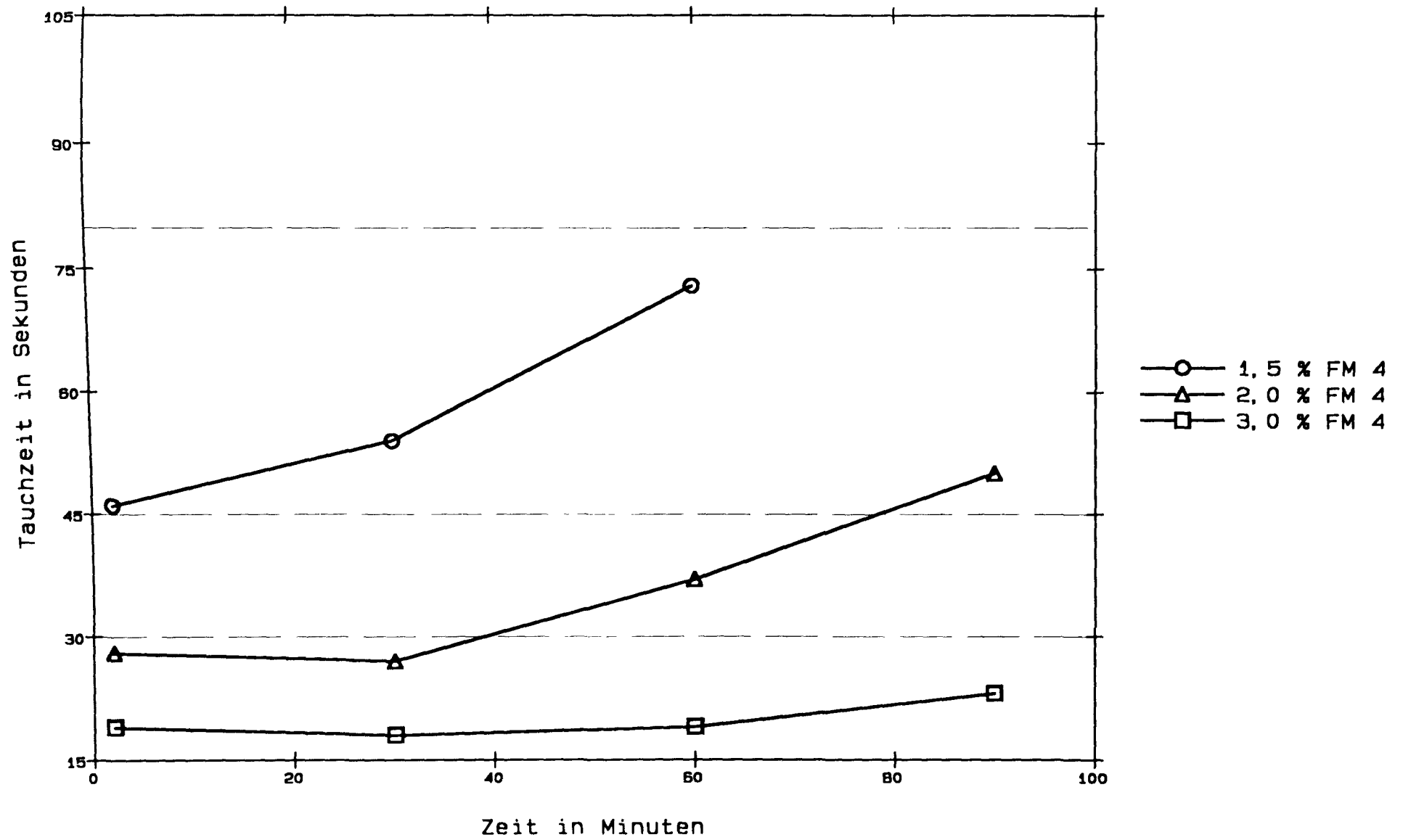
Parameter: ohne Silika, ohne EH, (Nullmoertel)

# Tauchzeiten



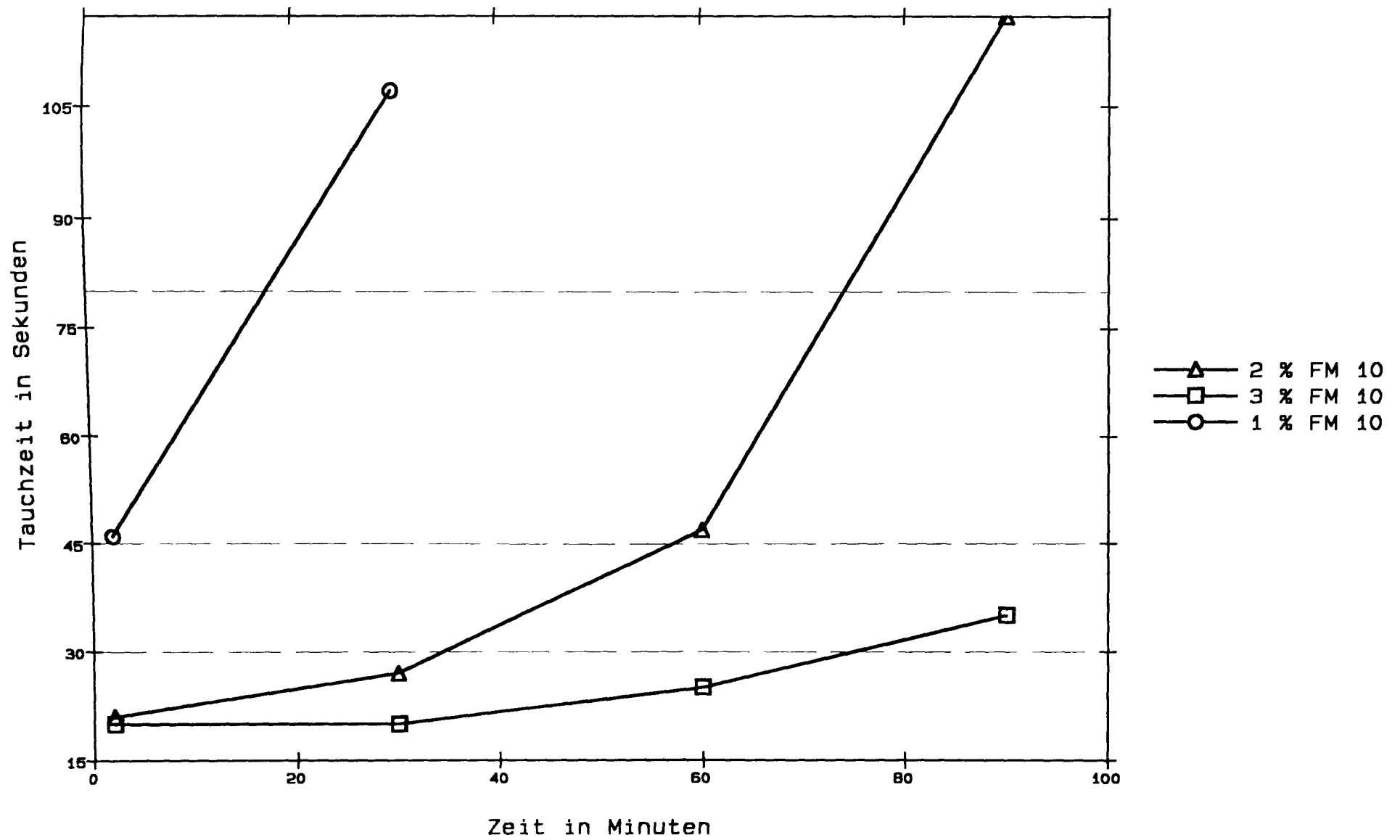
Parameter: ohne Silika, ohne EH

# Tauchzeiten



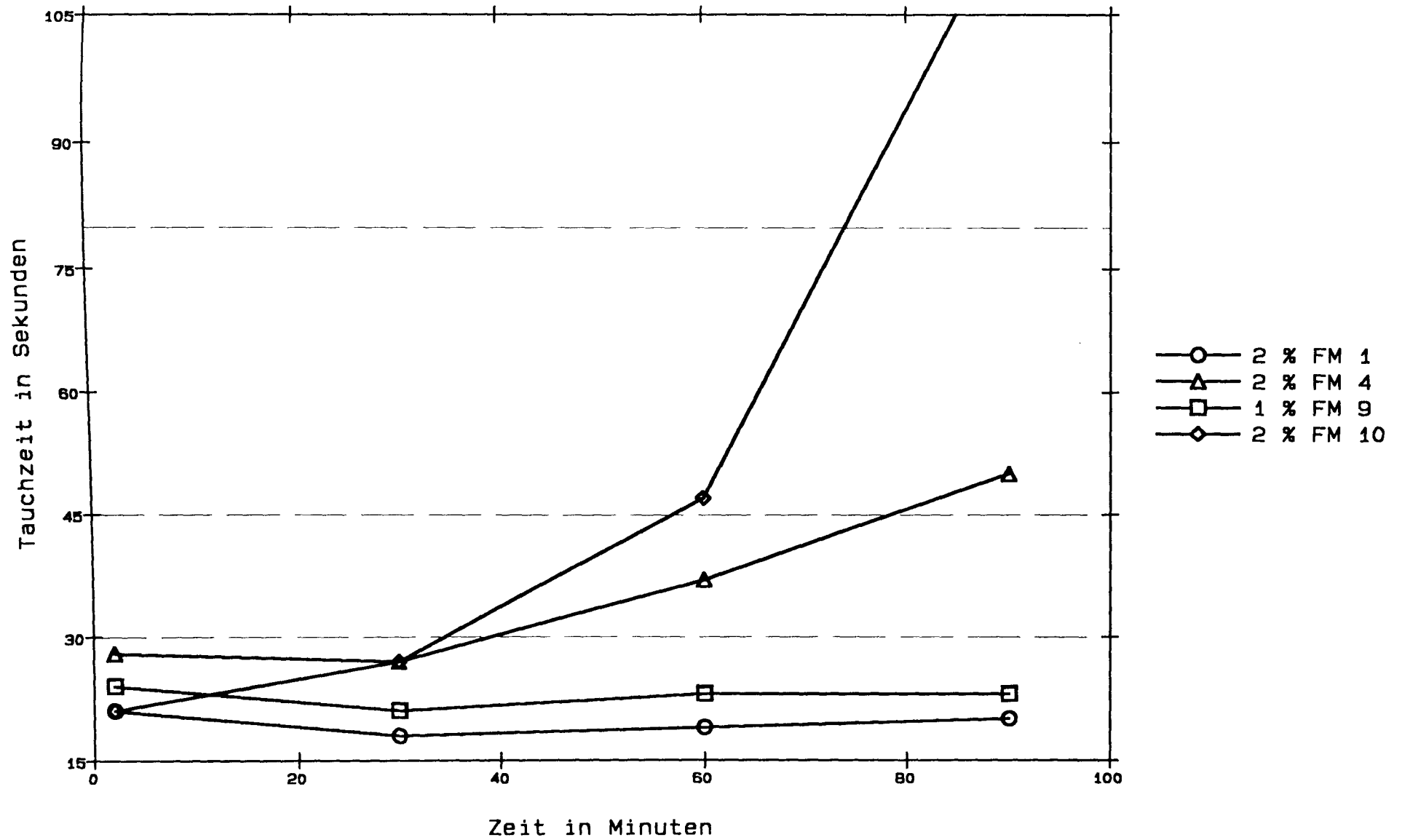
Parameter: ohne Silika, ohne EH

# Tauchzeiten



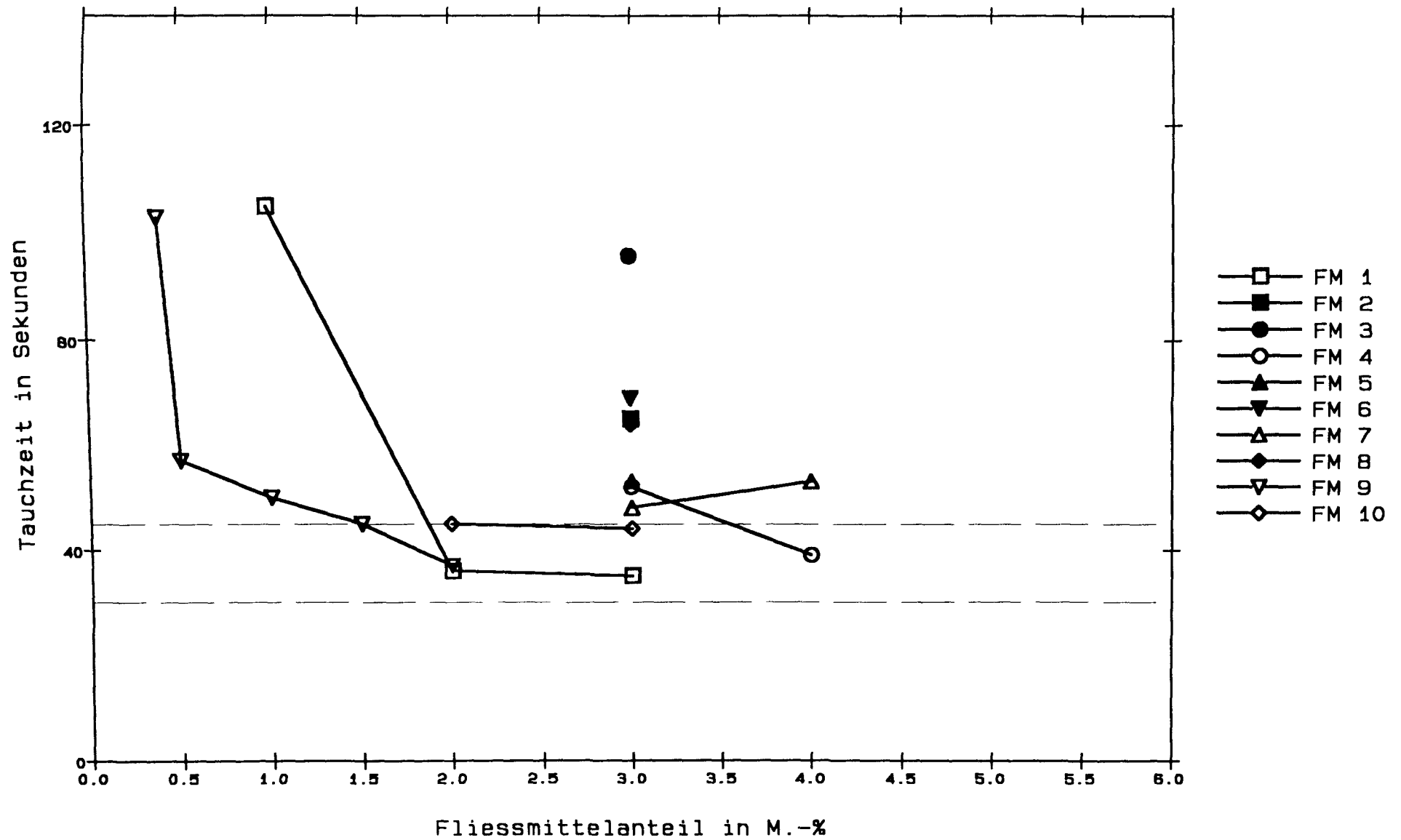
Parameter: ohne Silika, ohne EH

# FlieBsmittel im Vergleich



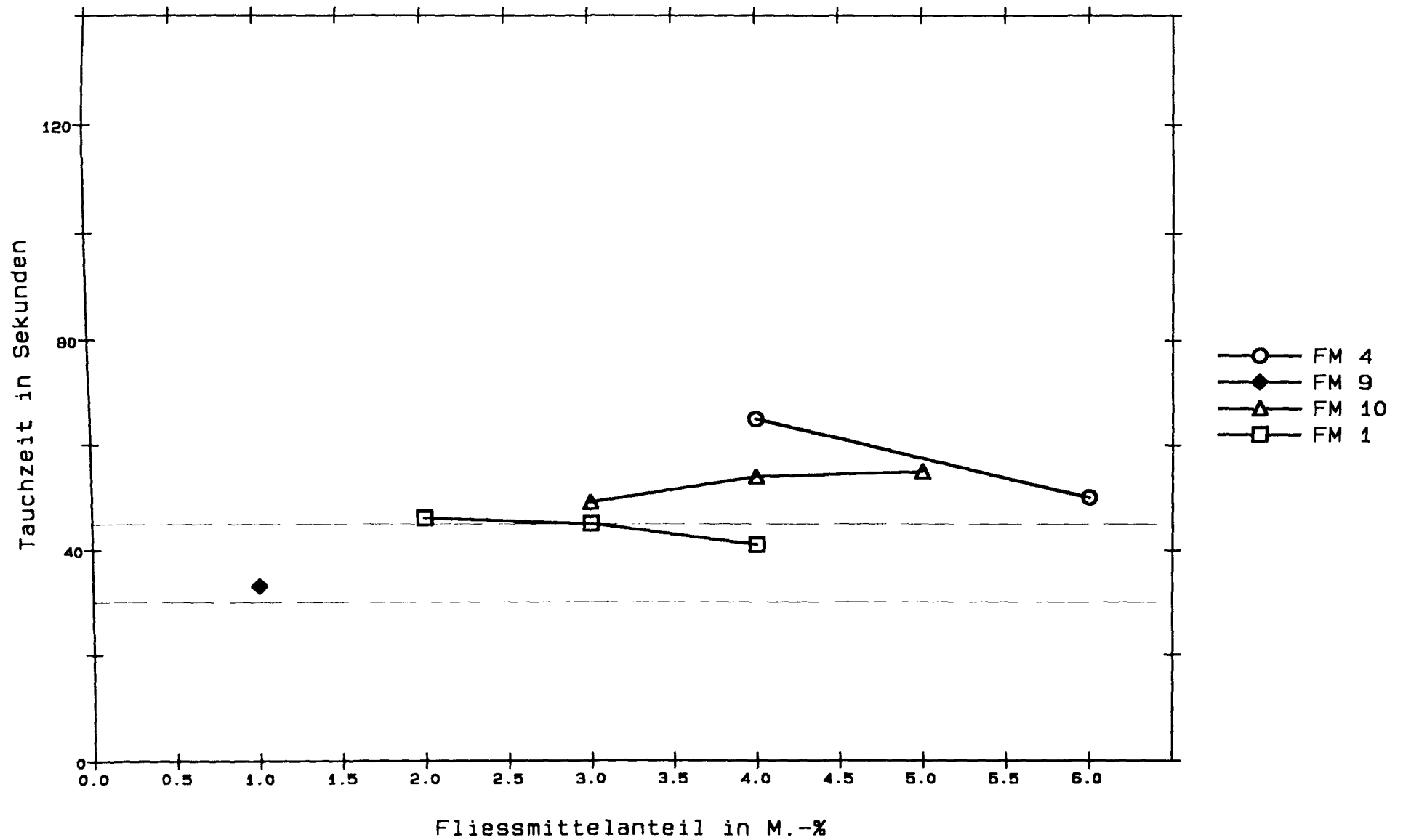
Parameter: ohne Silika, ohne EH

# Fließmittel im Vergleich



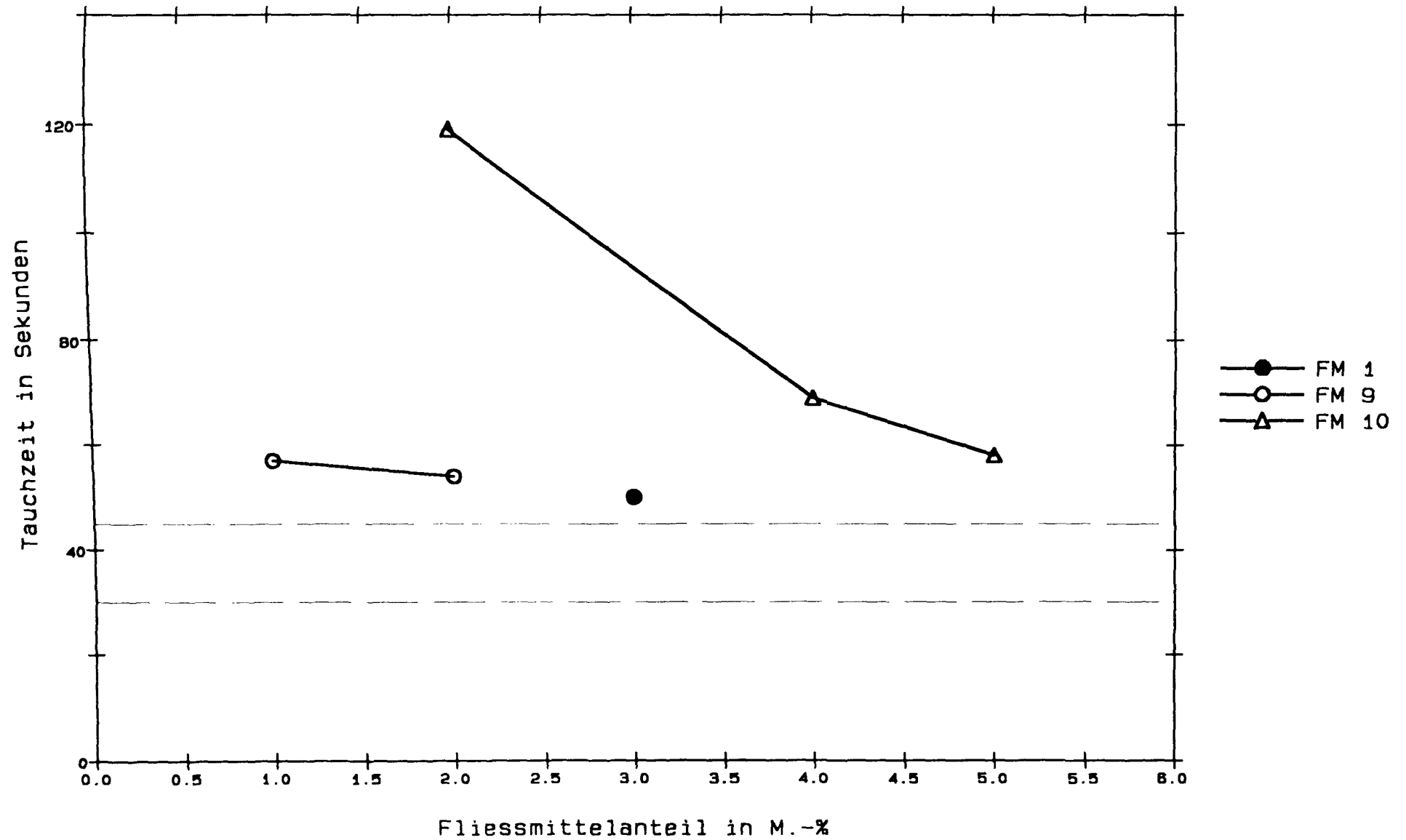
Parameter: 5 M.-% Silika 1, ohne EH, Tauchzeit sofort nach dem Mischen

# Fliessmittel im Vergleich



Parameter: 7,5 % Silika 1, ohne EH, Tauchzeit sofort nach dem Mischen

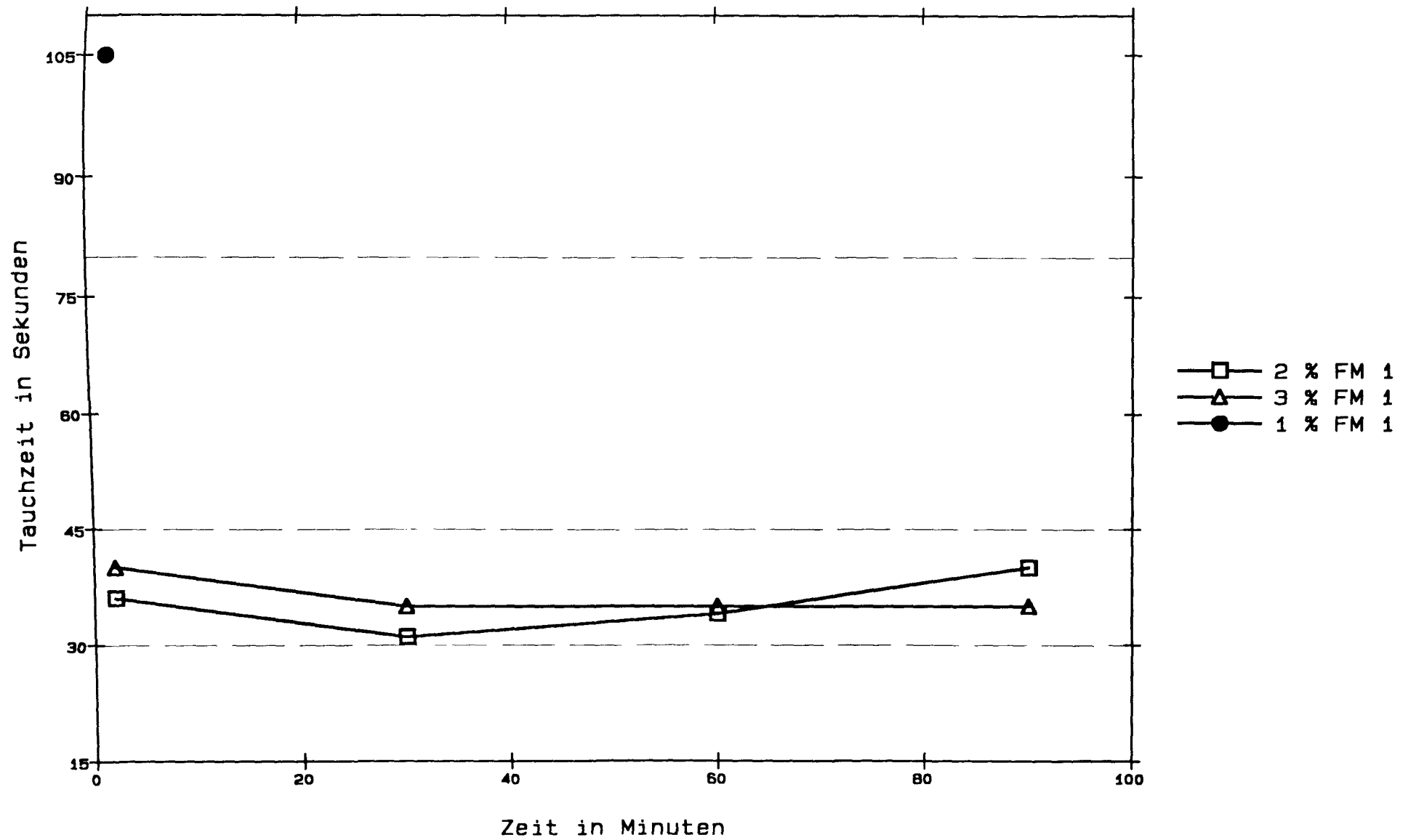
# Fliessmittel im Vergleich



Parameter: 10 % Silika 1, ohne EH, Tauchzeit sofort nach dem Mischen

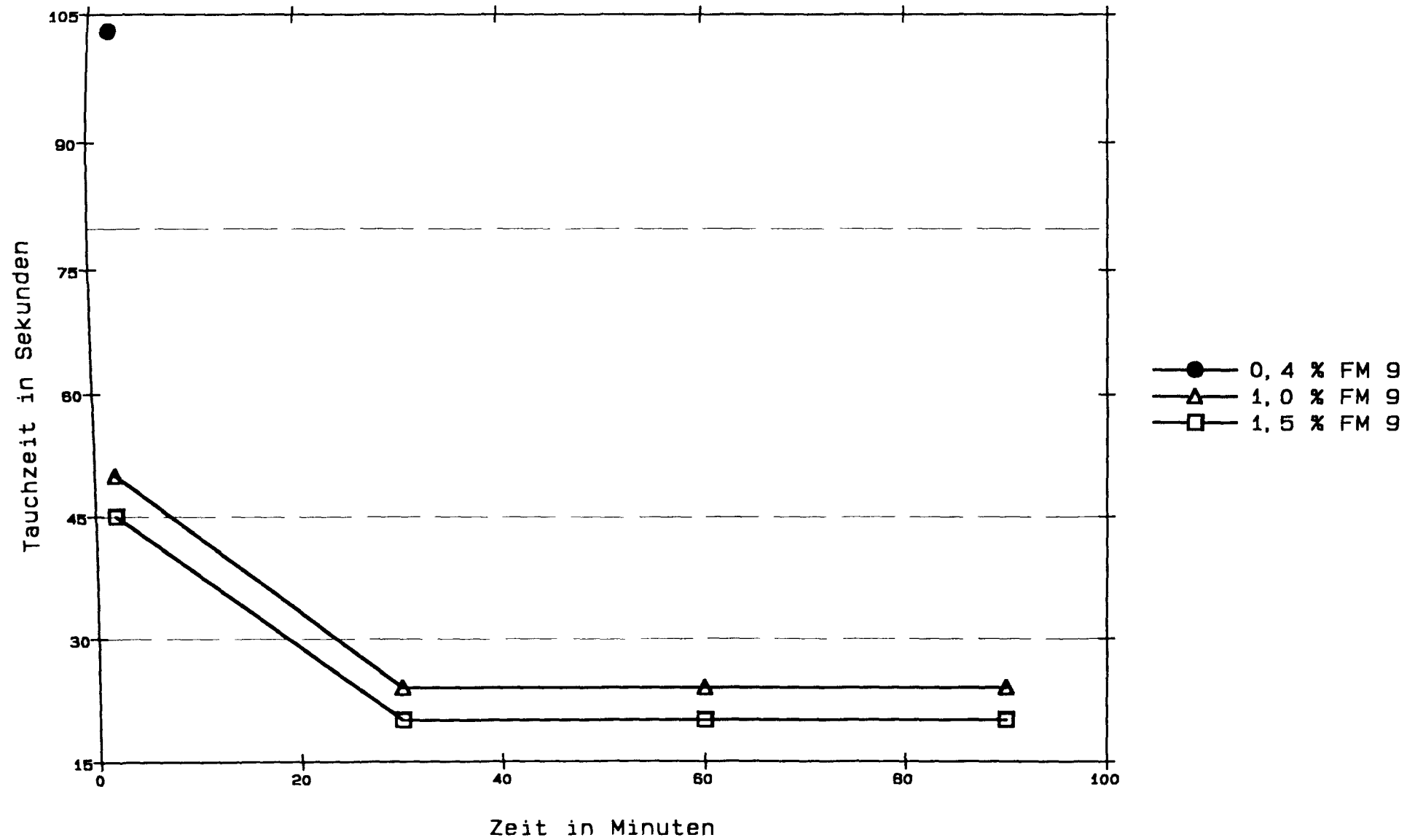


# Tauchzeiten



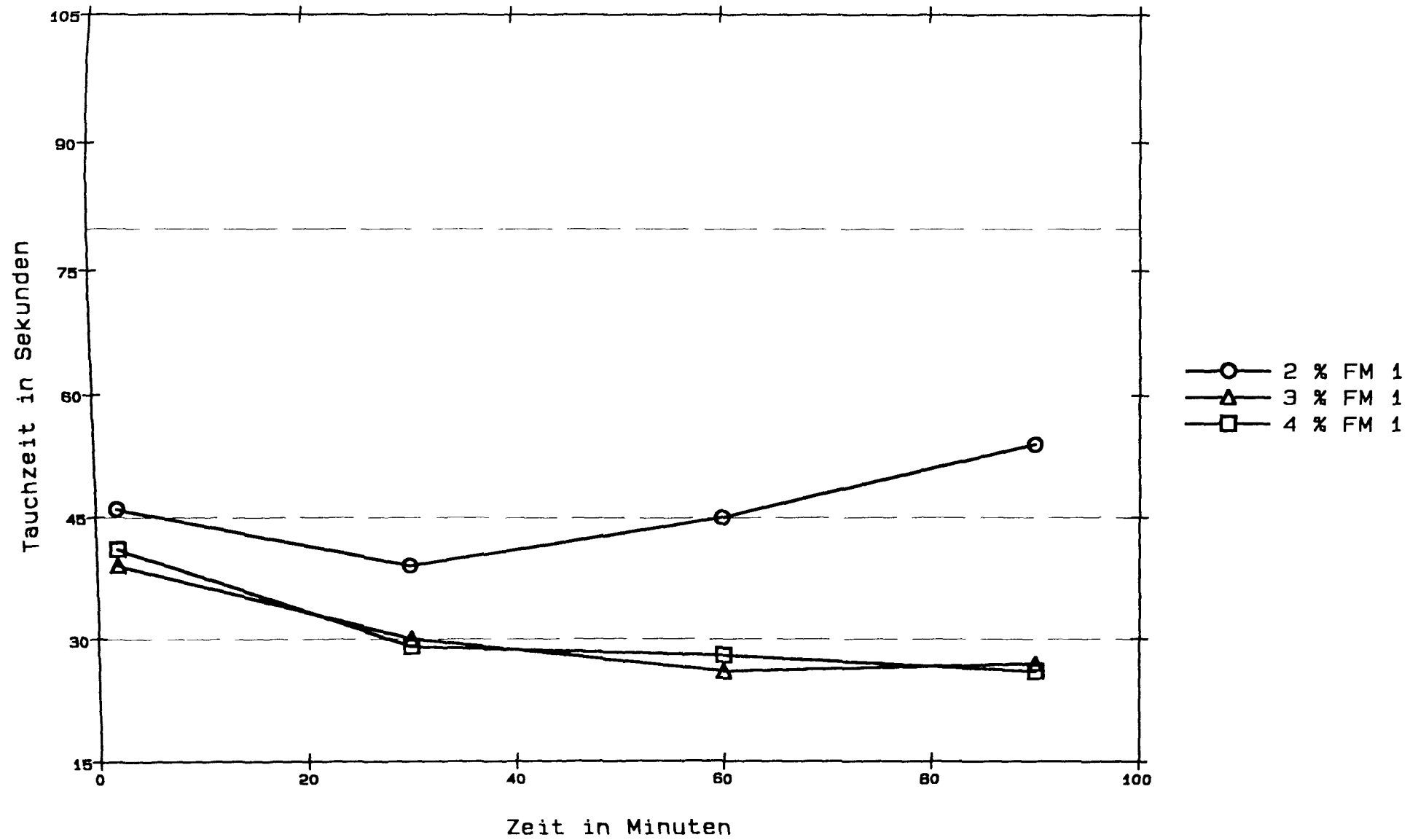
Parameter: 5 % Silika 1. ohne EH, FM 1

# Tauchzeiten



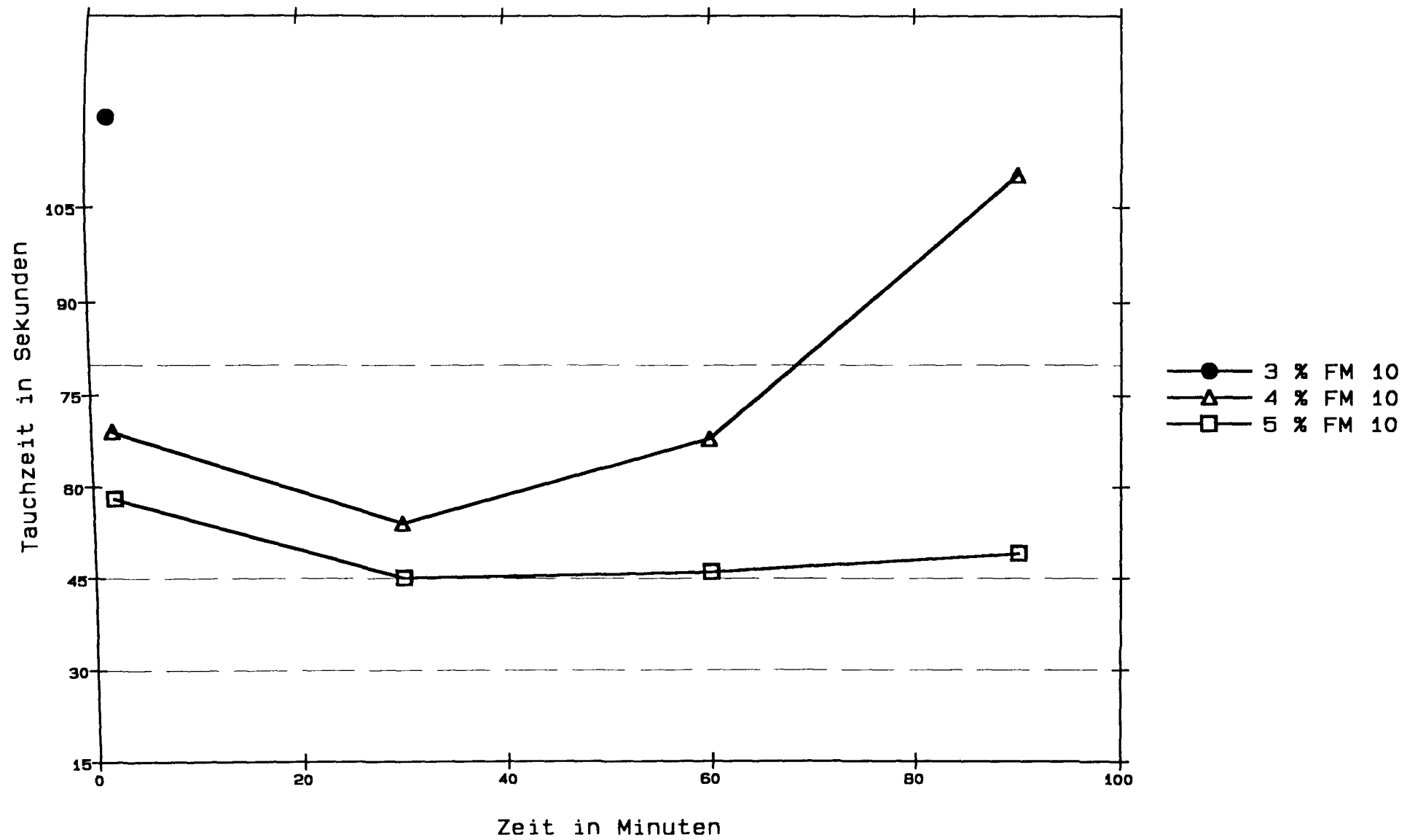
Parameter: 5 % Silika 1. ohne EH, FM 9

# Tauchzeiten



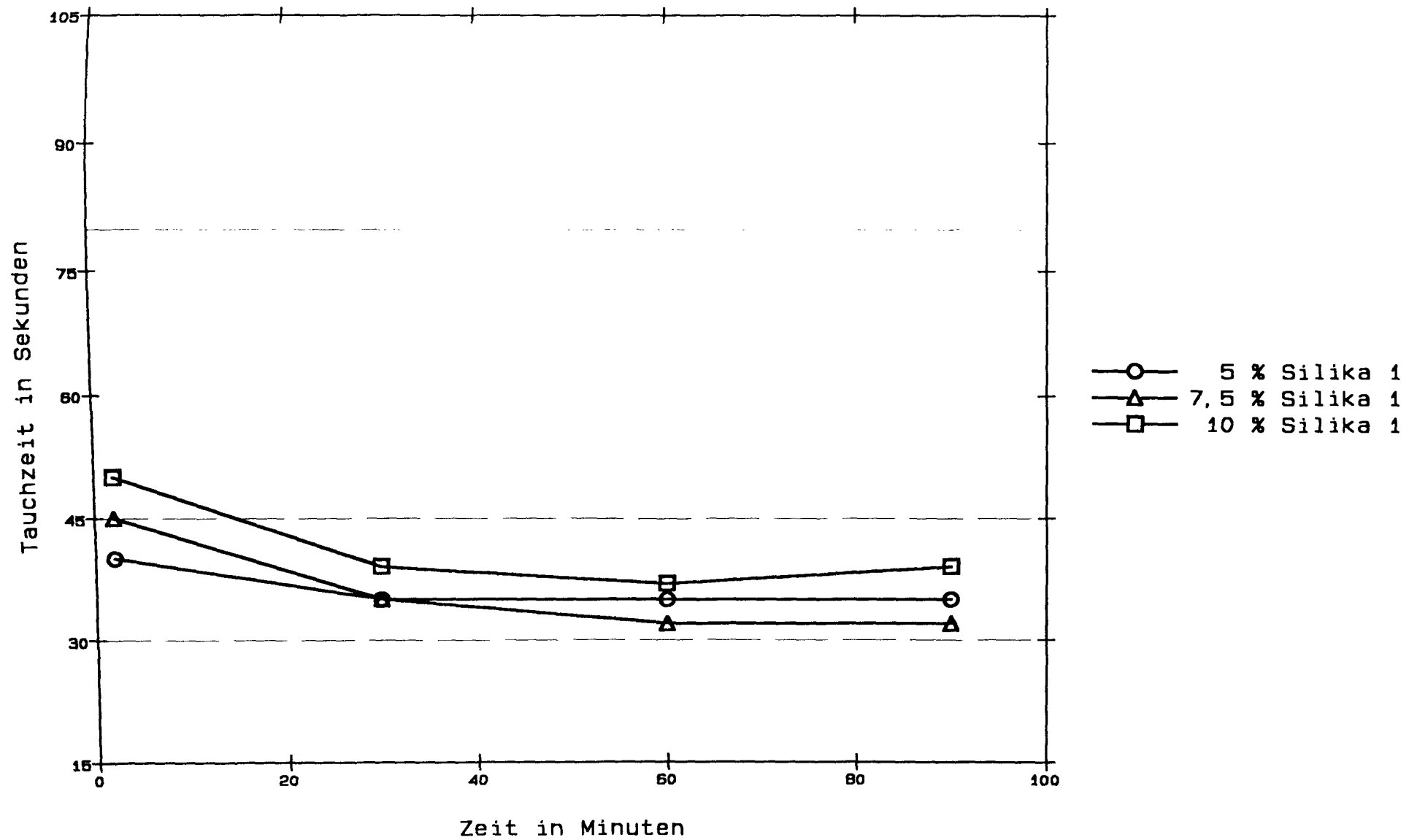
Parameter: 7.5 % Silika 1, ohne EH, FM 1

# Tauchzeiten

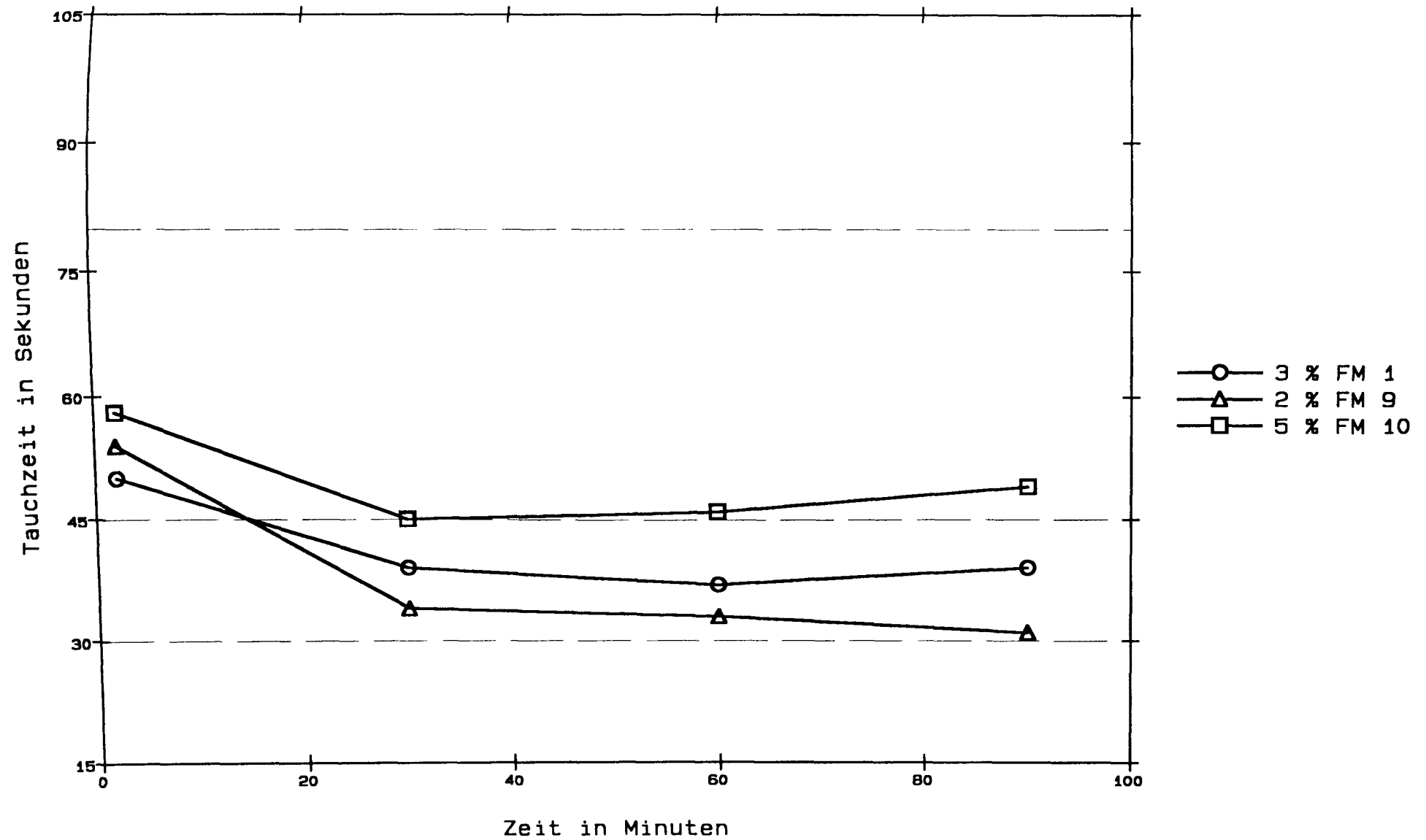


Parameter: 10 % Silika 1, ohne EH, FM 10

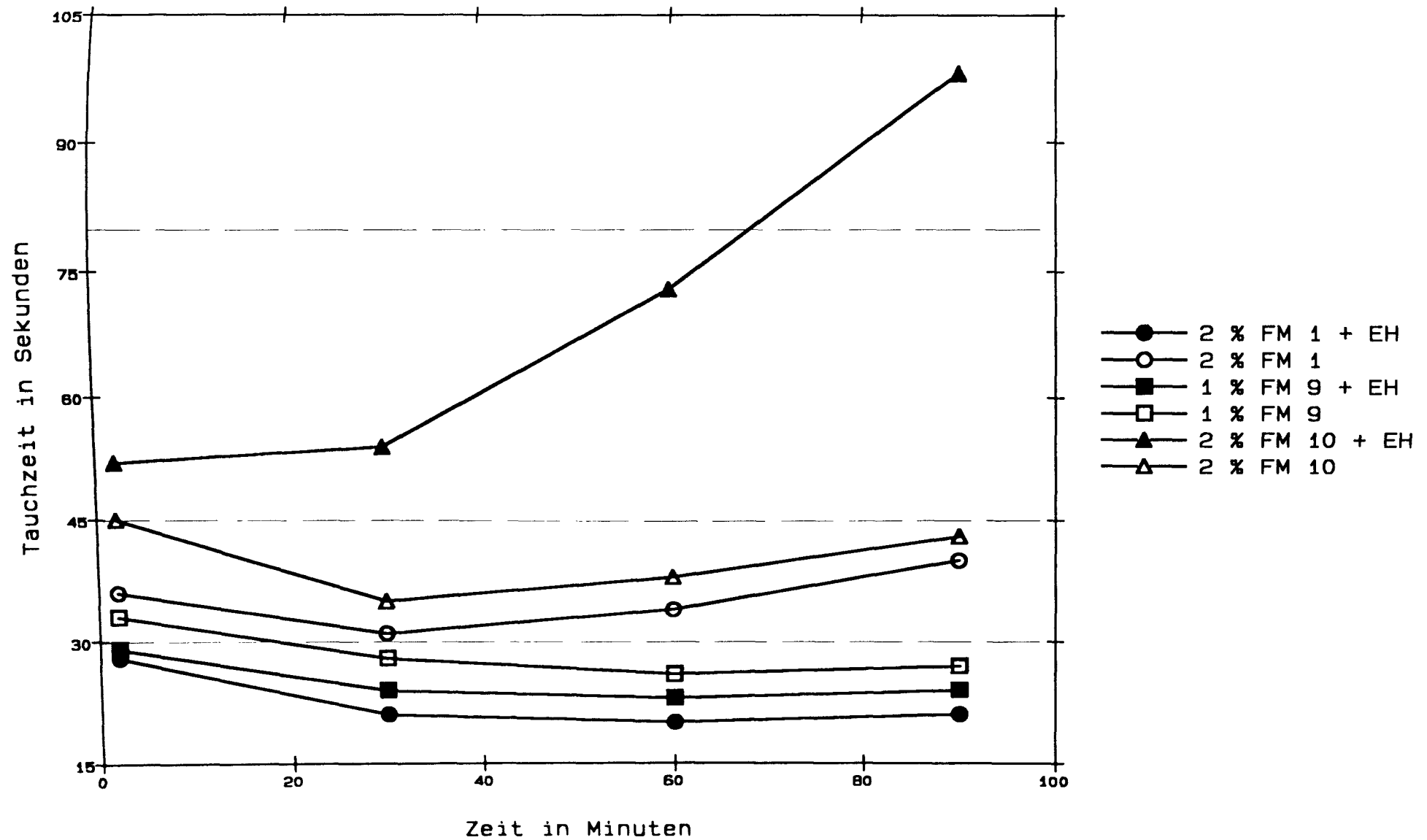
# Tauchzeiten



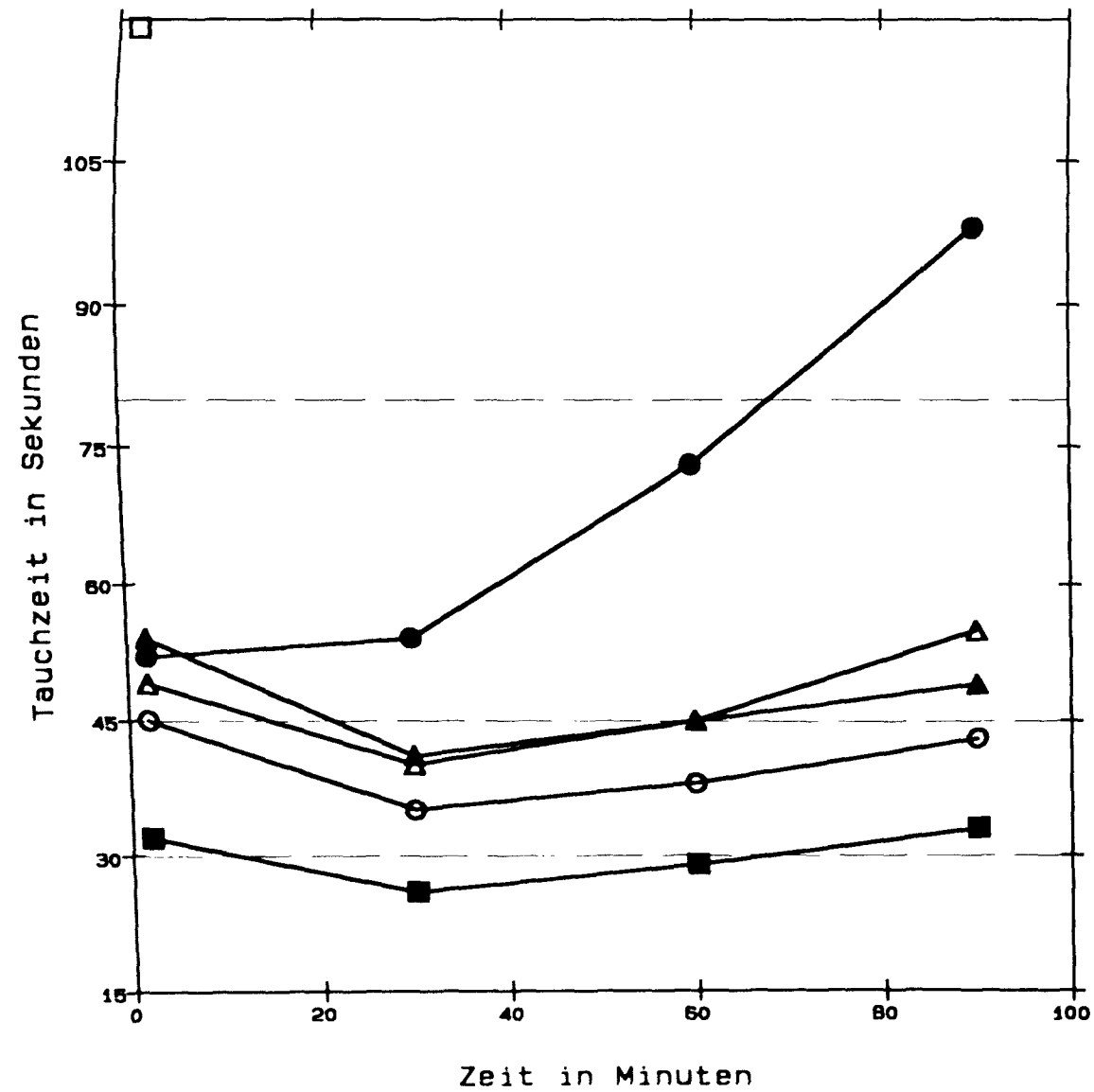
Parameter: Silika 1, 3 % FM 1, ohne EH



Parameter: 10 % Silika 1, ohne EH



Parameter: 5 % Silika 1, 1 % EH

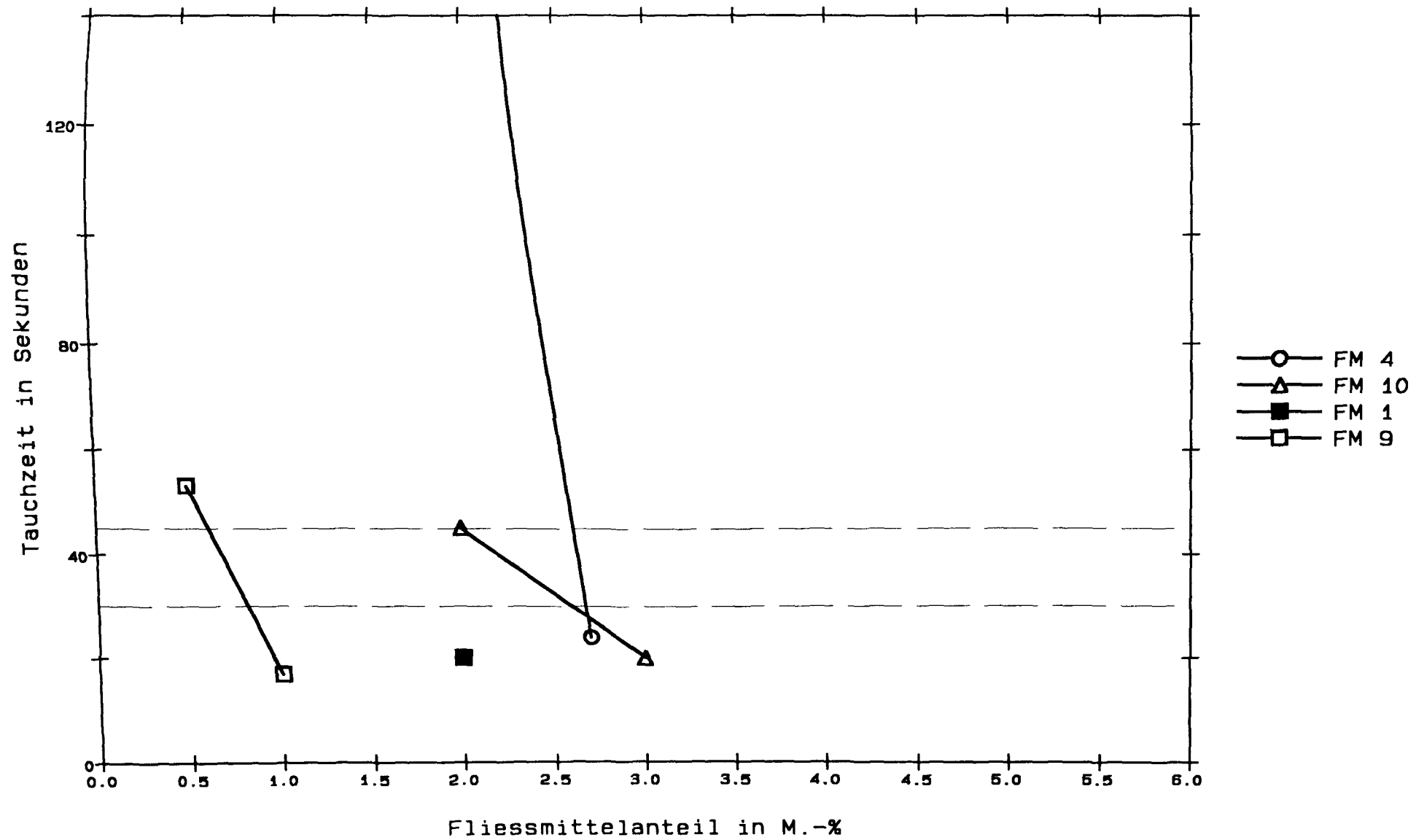


- 5 % Silika 1, 2 % FM 10, EH
- 5 % Silika 1, 2 % FM 10
- ▲ 7,5 % Silika 1, 3 % FM 10, EH
- △ 7,5 % Silika 1, 3 % FM 10
- 10 % Silika 1, 3 % FM 10, EH
- 10 % Silika 1, 3 % FM 10

Parameter: Silika 1, FM 10, 1 % EH

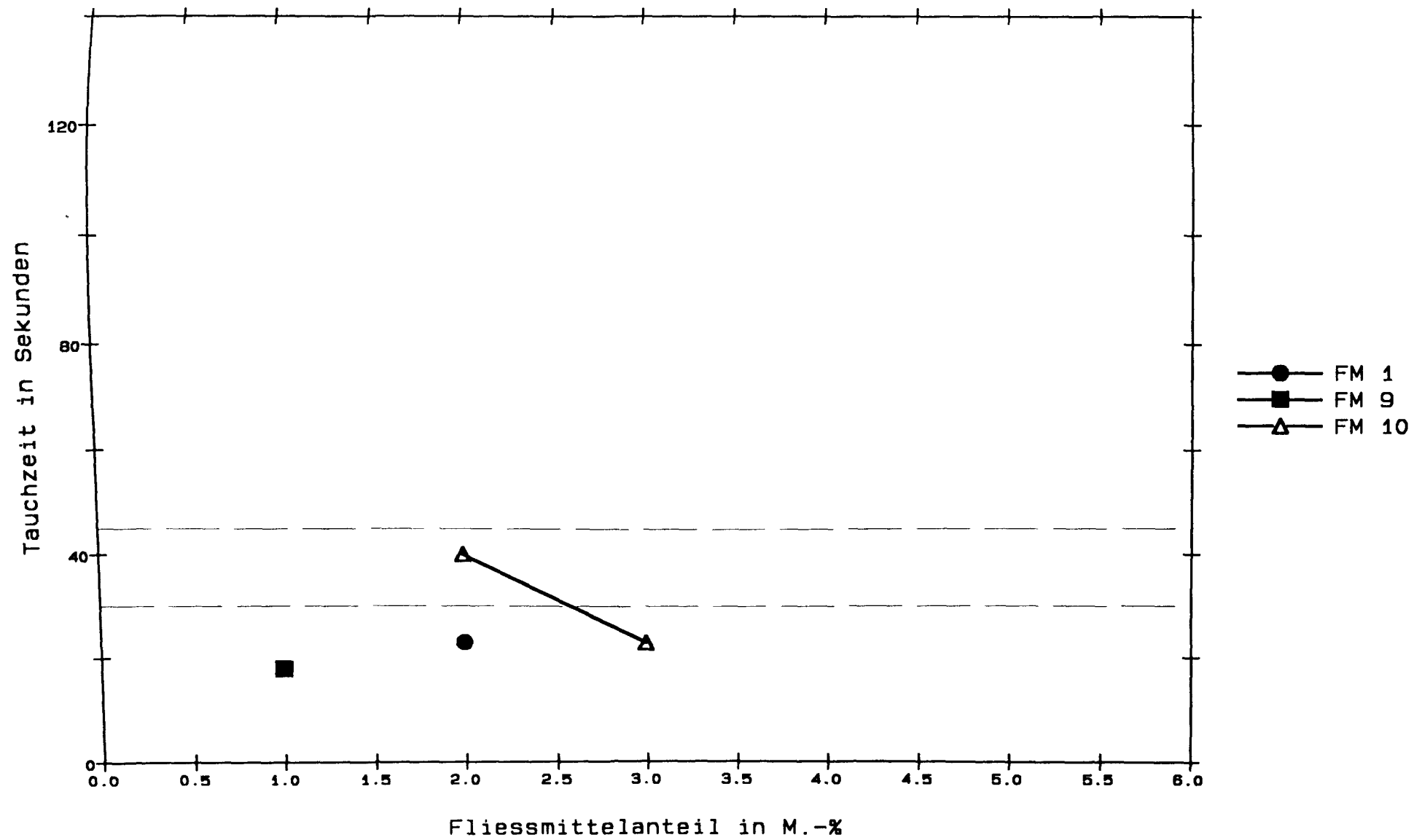


# FlieBsmittel im Vergleich



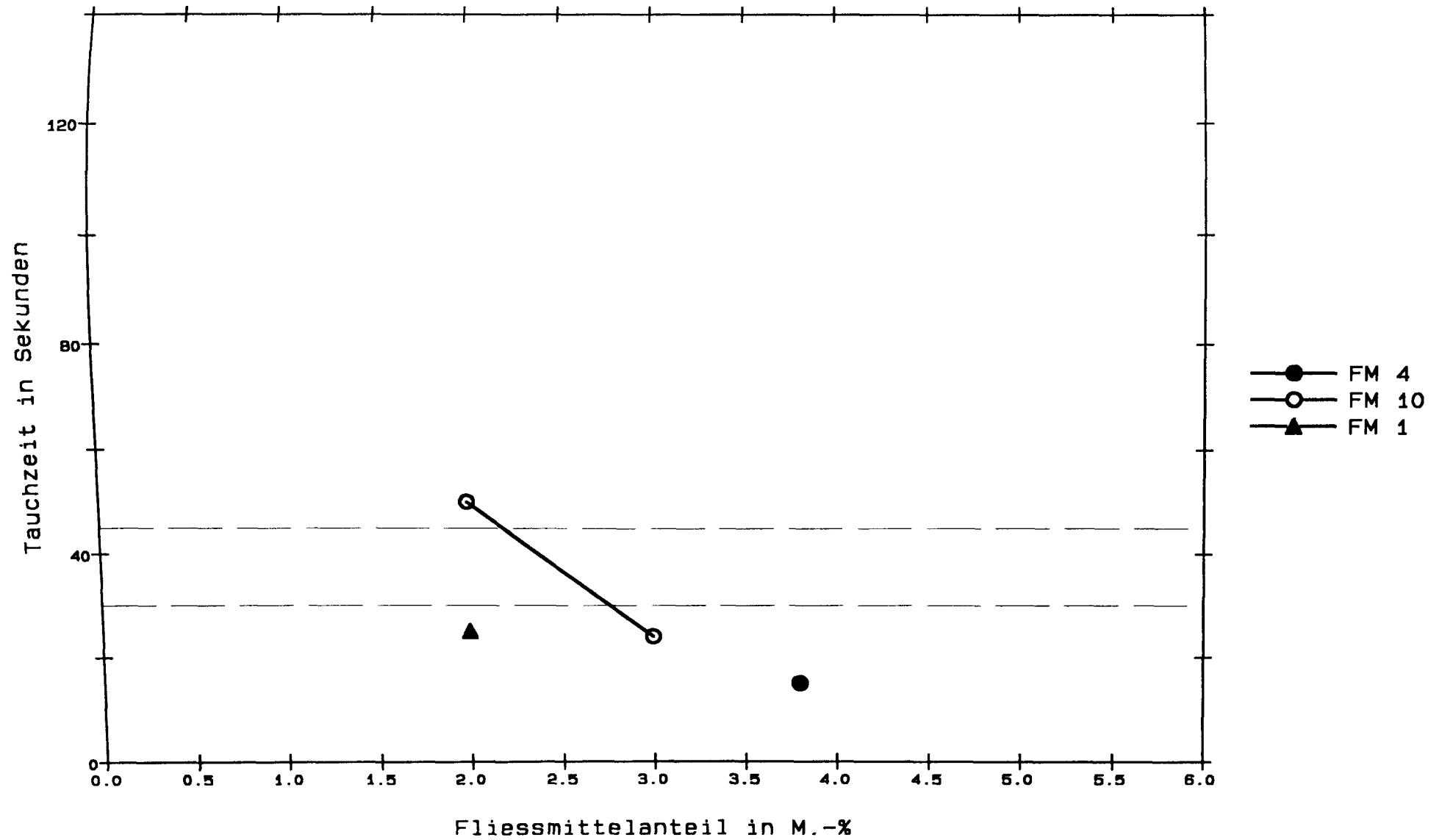
Parameter: 5 % Silika 2, ohne EH, Tauchzeit sofort nach dem Mischen

# Fließmittel im Vergleich



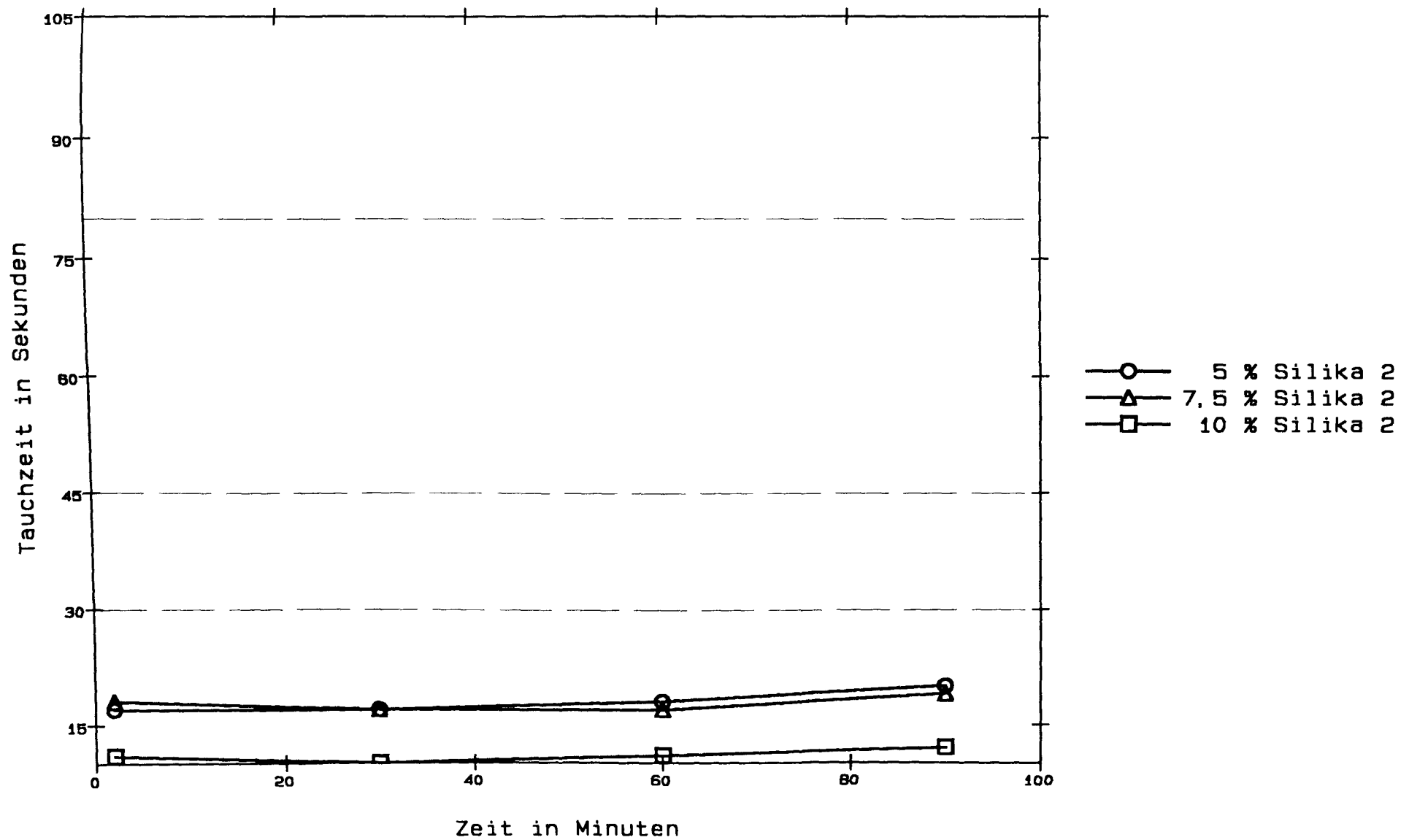
Parameter: 7,5 % Silika 2. ohne EH, Tauchzeit sofort nach dem Mischen

# Fluessmittel im Vergleich



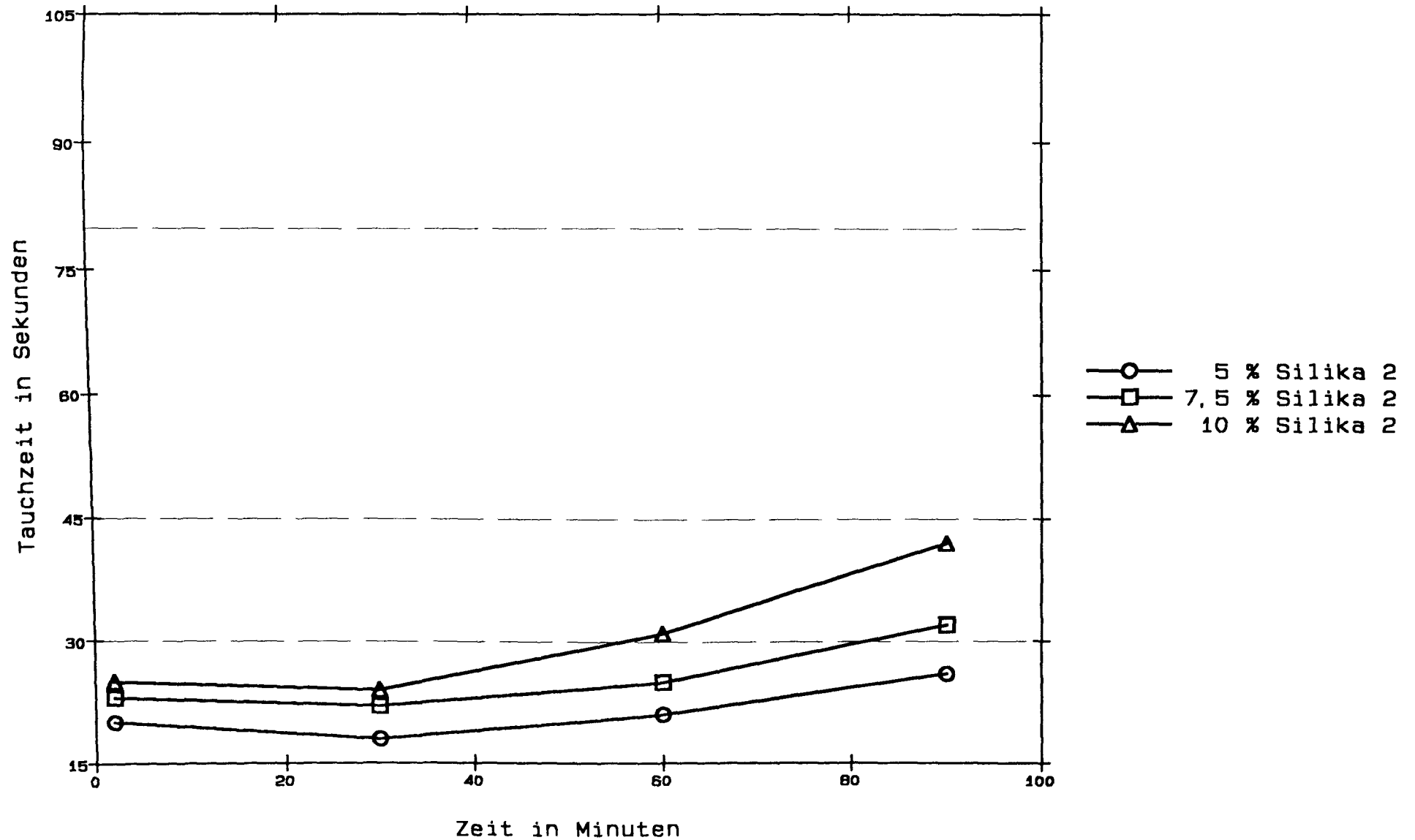
Parameter: 10 % Silika 2, ohne EH, Tauchzeit sofort nach dem Mischen

# Tauchzeiten



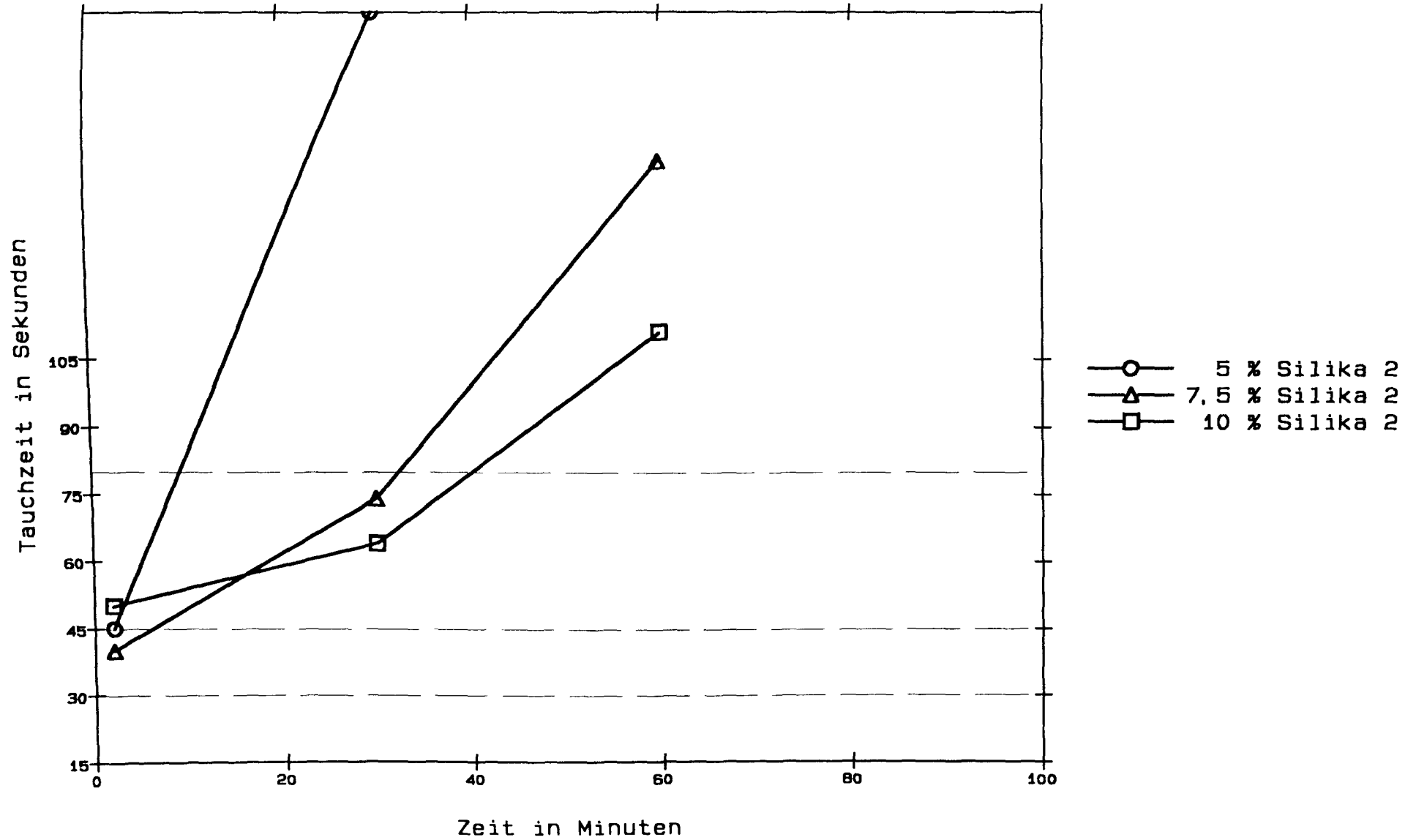
Parameter: Silika 2, ohne EH, 1 % FM 9

# Tauchzeiten



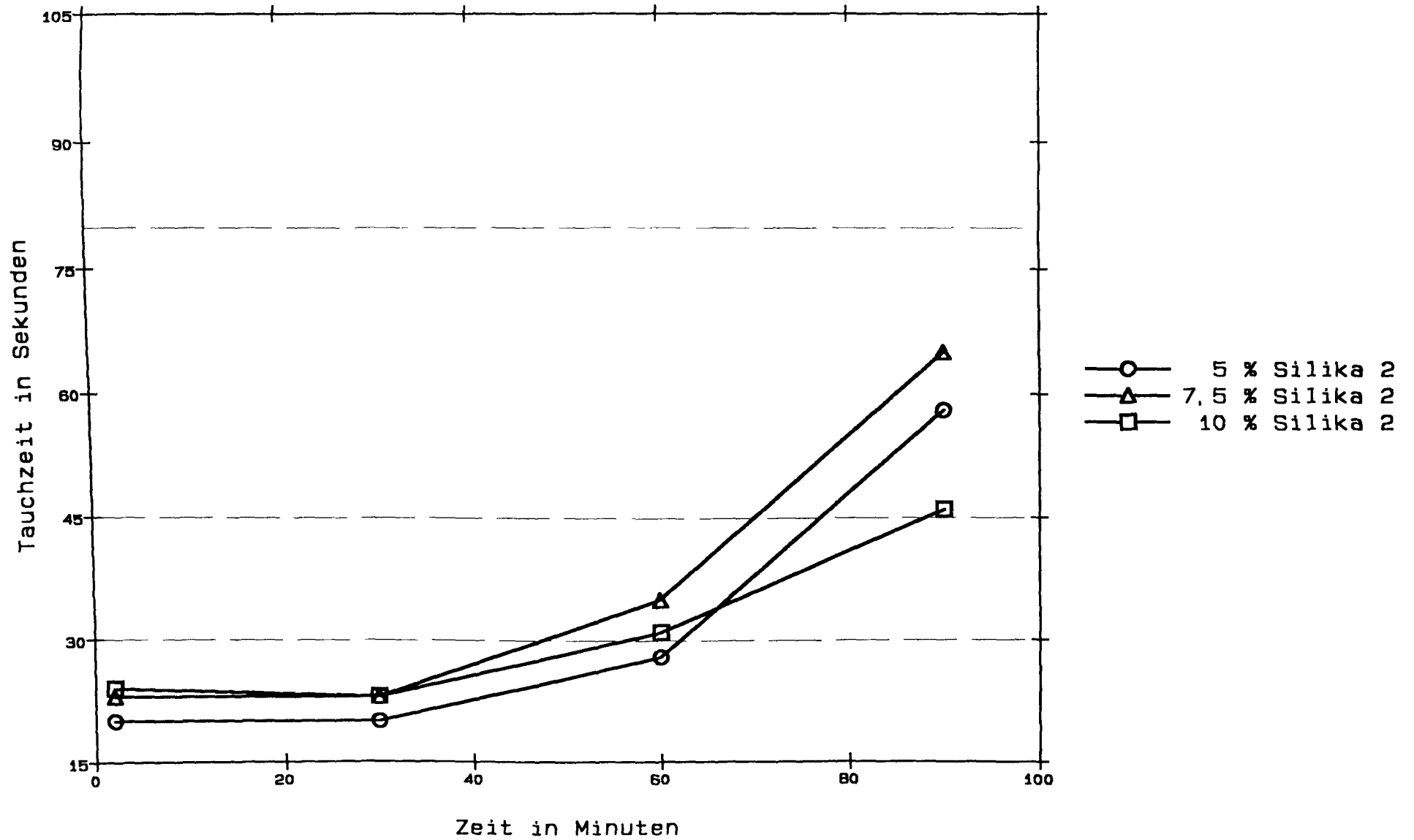
Parameter: Silika 2, 2 % FM 1, ohne EH

# Tauchzeiten

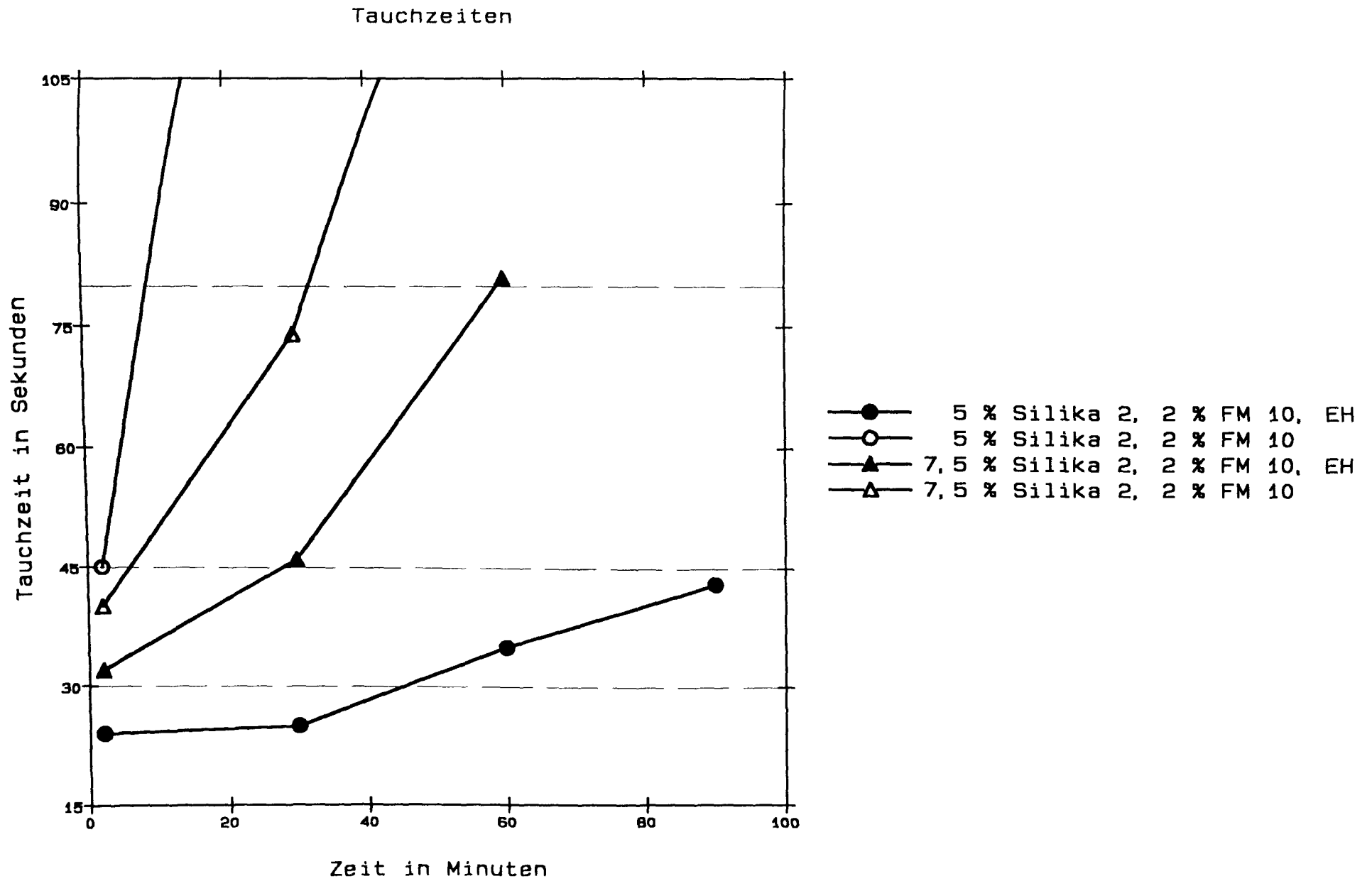


Parameter: Silika 2, 2 % FM 10, ohne EH

# Tauchzeiten



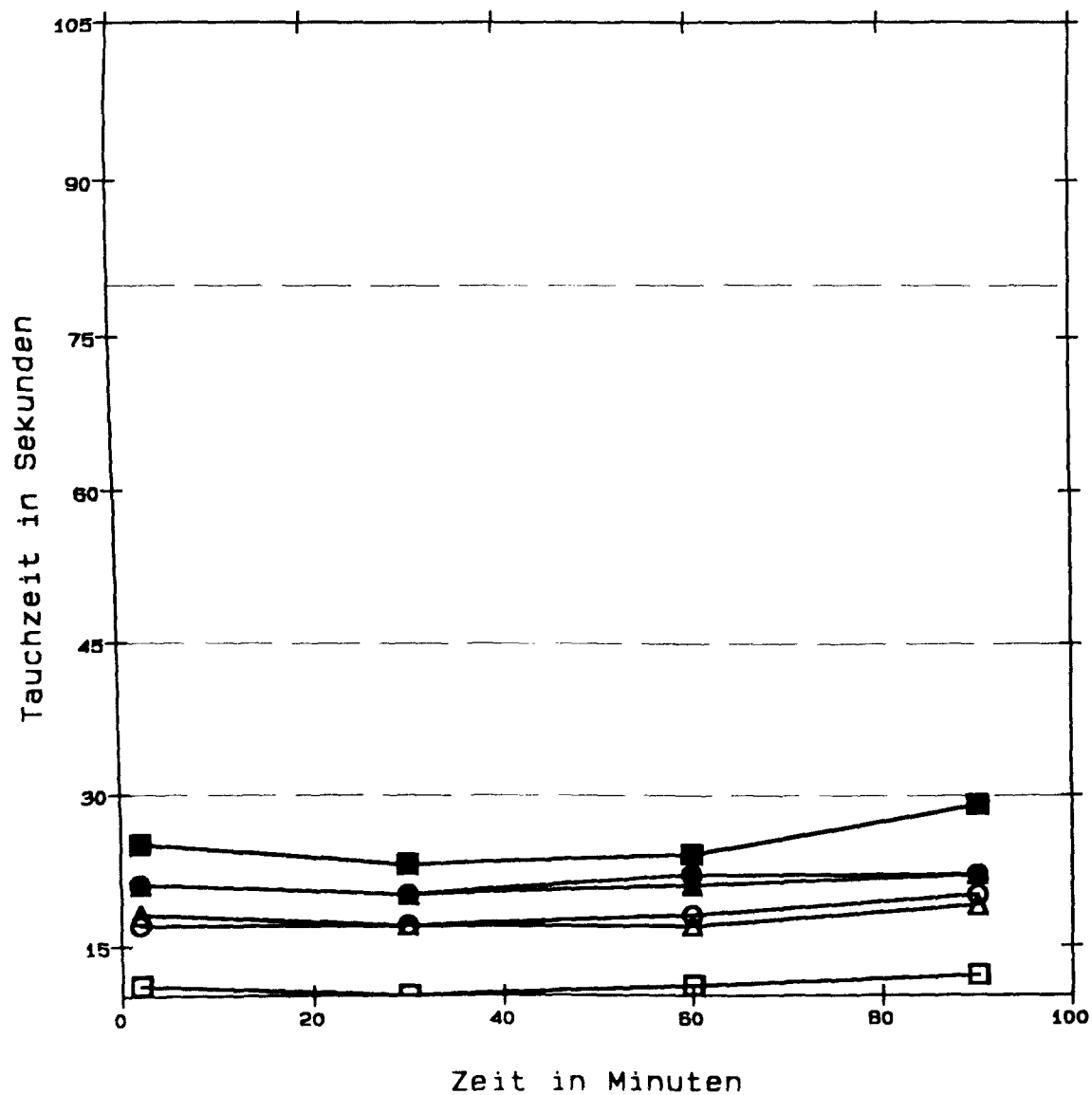
Parameter: Silika 2, 3 % FM 10, ohne EH



Parameter: Silika 2, 2 % FM 10, 1 % EH



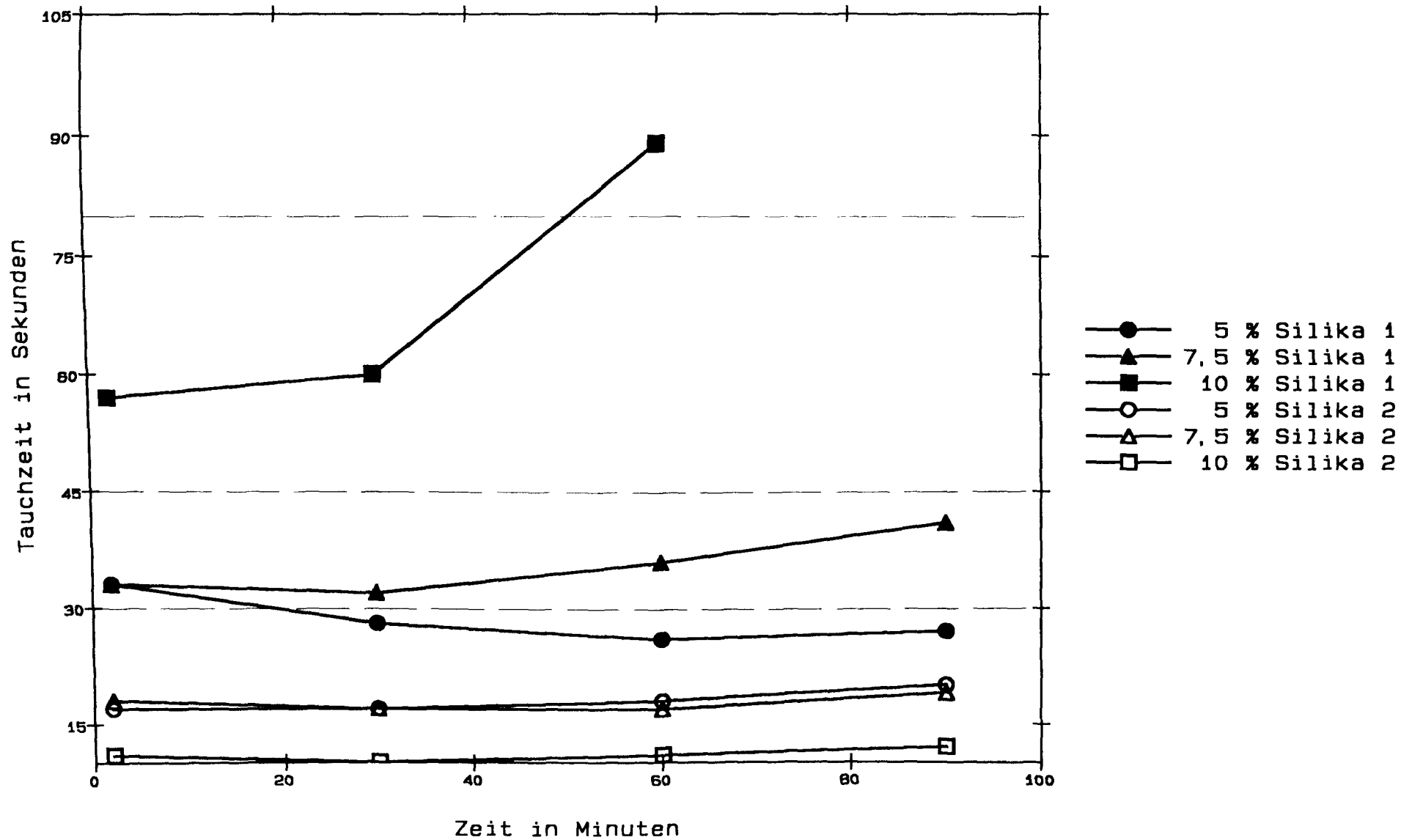
# Tauchzeiten



- 5 % Silika 2, 1 % FM 9, EH
- 5 % Silika 2, 1 % FM 9
- ▲ 7,5 % Silika 2, 1 % FM 9, EH
- △ 7,5 % Silika 2, 1 % FM 9
- 10 % Silika 2, 1 % FM 9, EH
- 10 % Silika 2, 1 % FM 9

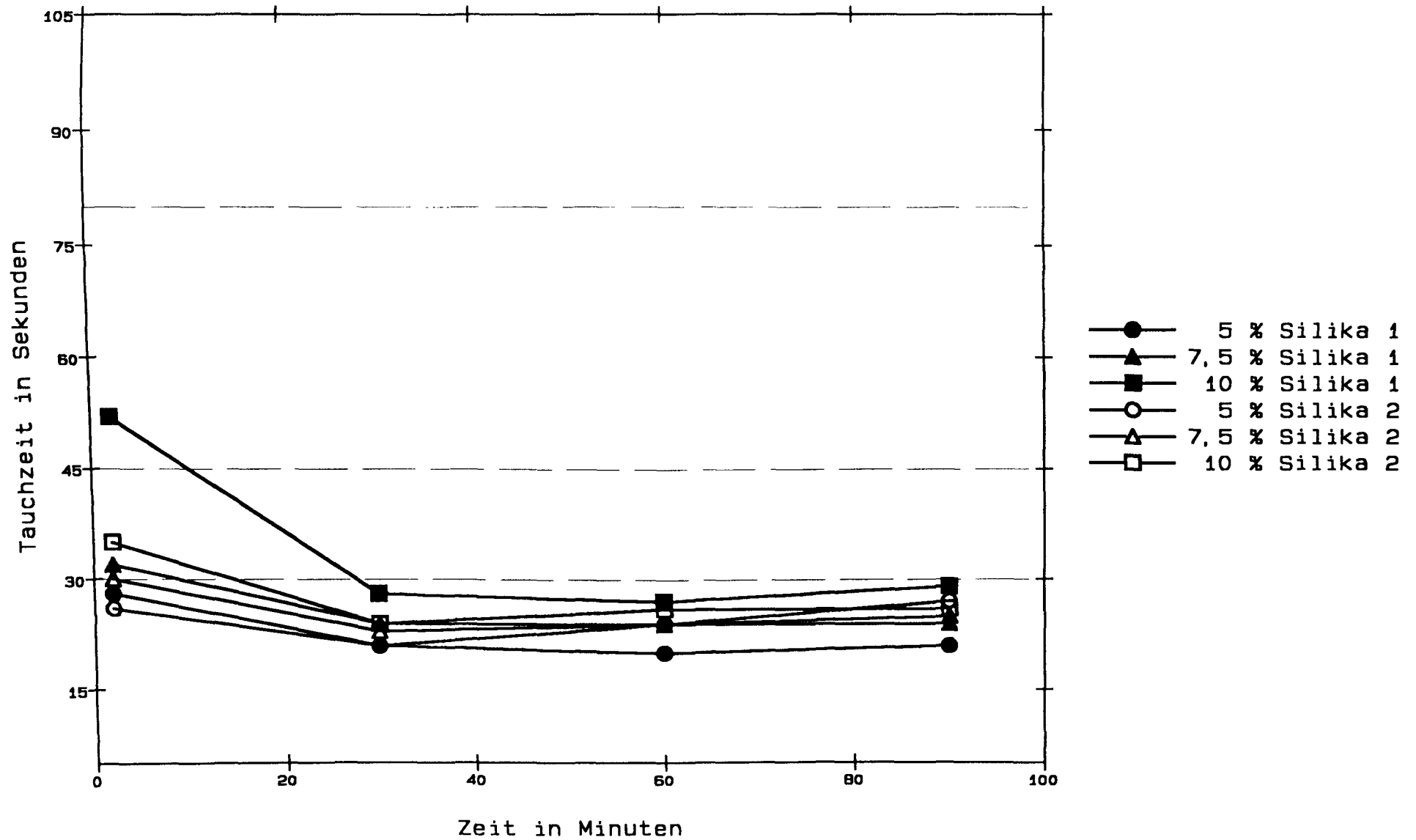
Parameter: Silika 2, 1 % FM 9

# Einfluss verschiedener Silika auf die Tauchzeit



Parameter: 1 % FM 9, ohne EH

# Einfluss von verschiedenen Silika auf die Tauchzeit



Parameter: 2 % FM 1, 1 % EH

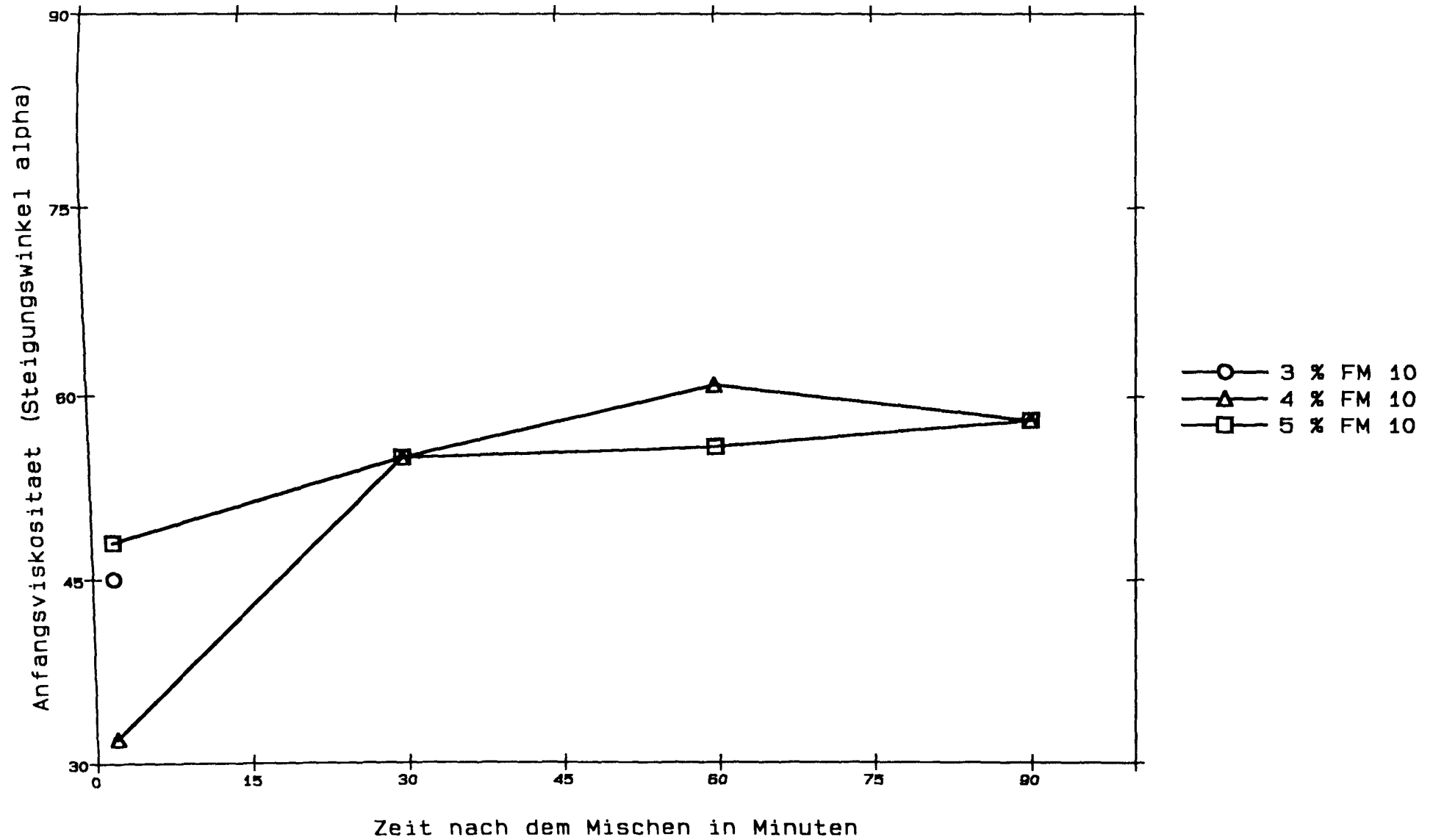
Viskositätskennwert  $\alpha$   
(Anfangsviskosität)

Zeit nach Mischende in Minuten									
Versuch	0	30	60	90	Versuch	0	30	60	90
1	54	60	64		49	71	70	66	62
2	52				50	52	61	62	60
3	55	61	61	67	51	32	55	61	58
4	18				52	45			
5	57				53	72	73	74	
6	42				54	71	71	71	
7	38				55	48	54	62	63
8	47				56	48	63	64	65
9	41				57	51	61	62	62
10	55	69	69	67	58	59	64	66	62
11	40				59	52			
12	19				60	73	76	74	73
13	30				61	65	70	68	70
14	47				62	33	58	57	
15	36	72	74	72	63	67	68	71	73
16	32	66	69	70	64	51	63	48	51
17	56				65	48	57	58	54
18	50	56			66	72	71	73	69
19	59	65	69	69	67	72	75	75	73
20	60	65	67	66	68	68	68		
21	45	59			69	77	80	77	76
22	48	59			70	84	83	84	83
23	42				71	72	76	76	75
24	40				72	72	76	76	74
25	47	67	65	68	73	73	77	75	76
26	56	64	66	66	74	73			
27	69	61	68	68	75	54	54	59	
28	56	63	67	69	76	50		59	61
29	65	65	63	63	77	50	61	62	63
30					78	62	65	64	64
31					79	84	39	59	65
32	79	80	78	77	80	70	72	69	69
33	75	79	77	78	81	70	70	72	
34		72	71	71	82	71	74	74	74
35	66	67	66	65	83	68		76	75
36	34	53	64		84	67	72	72	72
37	75	76	74	74	85	63	70	74	74
38	75	77	77	77	86		73	73	72
39	47	63	71	66	87	71	74	73	72
40	54	62	61	62	88	72	75	75	75
41	48	59	62	67	89	71	75	74	75
42	56	51	57	48	90	67	72	73	73
43	48	55	56	58	91	62	73	73	74
44	54	54			92	60	66	68	69
45	71	72			93	73	74	74	74
46	67	76	72	66	94	71	77	76	75
47	72	75	73	78	95	65	75	75	75
48	73	76	75	78					

Viskositätskennwert  $\tau_f$   
(Fließgrenze)

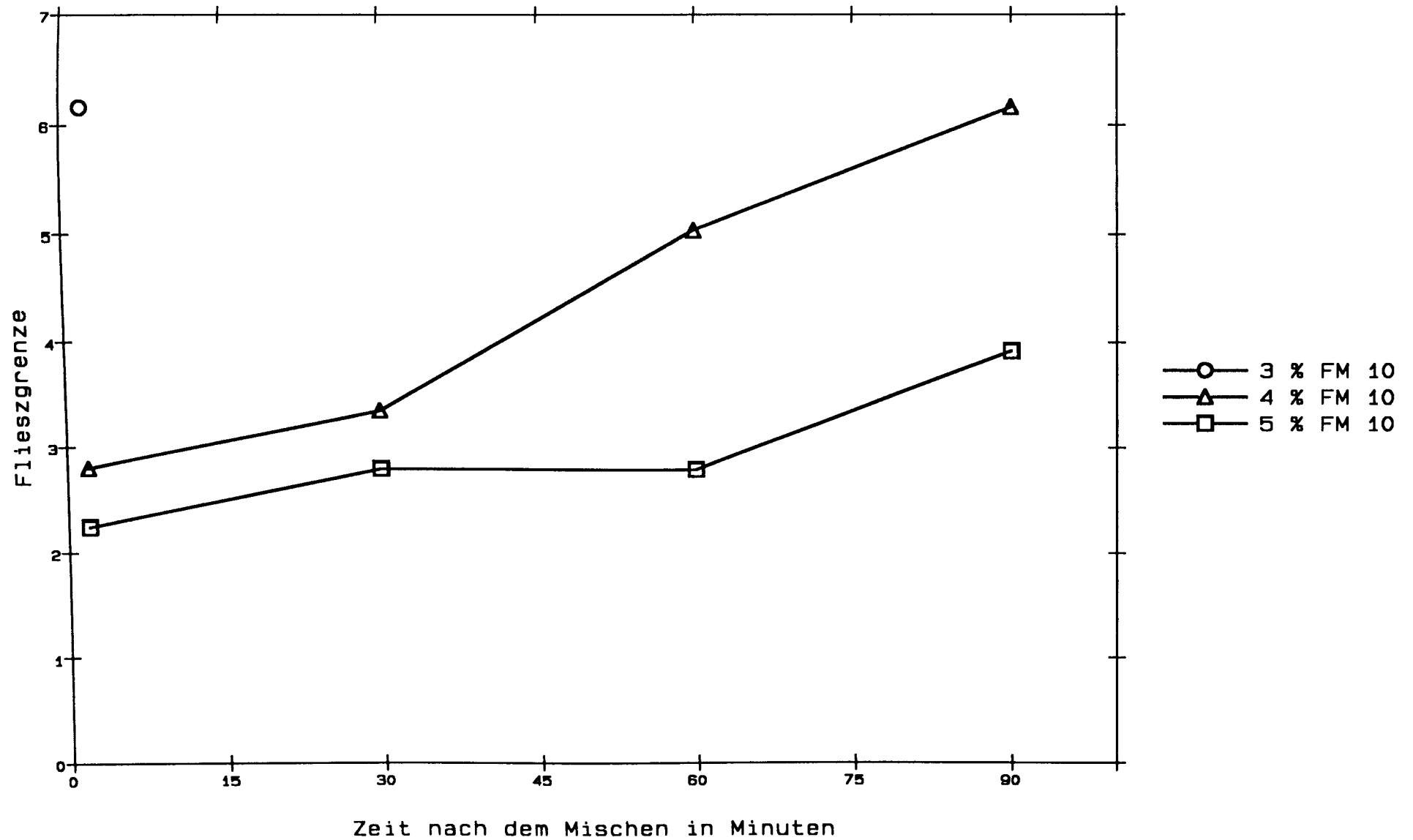
Zeit nach Mischende in Minuten									
Versuch	0	30	60	90	Versuch	0	30	60	90
1	0.6	0.60	0.10		49	2.8	5.04	8.40	11.20
2	3.5				50	3.4	4.48	7.28	10.08
3	1.2	0.10	0.10	1.20	51	2.8	3.36	5.04	6.16
4	0.1				52	6.2			
5	1.7				53	5.6	6.16	7.84	
6	0.1				54	5.0	7.28	8.96	
7	0.1				55	1.1	1.68	1.68	1.68
8	0.1				56	1.1	1.12	1.68	1.68
9	0.1				57	3.4	3.36	5.04	6.16
10	0.2	0.10	0.10	0.10	58	2.2	2.24	3.92	5.60
11	0.1				59	10			
12	5.8				60	0.6	1.12	0.56	1.12
13	6.3				61	1.7	3.36	4.48	3.92
14	0.1				62	2.8	3.36	6.72	
15	1.7	0.10	0.10	0.10	63	0.6	0.56	1.12	1.12
16	1.0	0.10	0.10	11.00	64	1.7	2.24	2.24	5.04
17	1.1				65	1.7	1.12	1.12	1.12
18	6.9	10.90			66	1.7	2.80	3.36	5.60
19	1.2	1.70	1.20	2.60	67	1.1	0.56	1.68	1.68
20	2.9	2.30	4.00	4.60	68	5.6	7.28		
21	5.8	8.60			69	1.1	1.12	2.24	2.24
22	4.6	6.90			70	0.6	0.56	0.56	0.56
23	2.3				71	2.8	3.36	3.36	8.96
24	5.2				72	3.4	2.80	4.48	6.16
25	0.1	0.60	1.70	1.70	73	2.8	4.48	6.16	7.84
26	1.2	1.20	1.70	1.20	74	15			
27	0.6	0.60	0.10	0.10	75	3.9	5.04	5.60	
28	1.2	0.90	0.60	0.60	76	3.4		5.60	7.28
29	1.7	1.70	2.90	3.50	77	2.2	3.36	4.48	5.60
30					78	1.7	2.24	3.92	5.04
31					79	1.1	1.68	2.24	1.68
32	1.2	1.20	1.20	1.40	80	2.2	3.36	5.60	7.28
33	1.2	1.70	2.30	3.50	81	3.9	5.04	7.28	
34		3.50	2.30	2.90	82	2.8	2.80	3.92	3.92
35	2.9	4.60	4.60	5.80	83	1.7		1.12	1.68
36	3.5	5.80	6.40		84	2.8	1.68	2.24	2.24
37	2.9	4.10	5.80	8.10	85	2.2	2.80	2.80	3.36
38	1.7	1.12	1.12	1.12	86		5.60	6.16	7.28
39	3.6	3.92	0.56	0.56	87	2.8	2.80	3.92	5.04
40	2.8	3.92	4.48	6.16	88	2.2	2.24	2.80	3.36
41	1.7	3.36	3.36	3.36	89	2.2	2.80	3.36	3.92
42	1.7	2.80	2.80	3.36	90	1.1	1.12	1.12	1.68
43	2.2	2.80	2.80	3.92	91	1.1	1.12	1.12	1.68
44	5.6	6.72			92	2.2	3.36	3.92	4.48
45	3.4	10.08			93	0.6	0.56	0.56	1.12
46	2.8	5.04	6.72	8.96	94	1.1	1.12	0.56	0.56
47	3.9	4.48	7.28	10.08	95	1.1	1.12	1.68	1.68
48	2.8	3.92	4.48	5.60					

# Anfangsviskosität



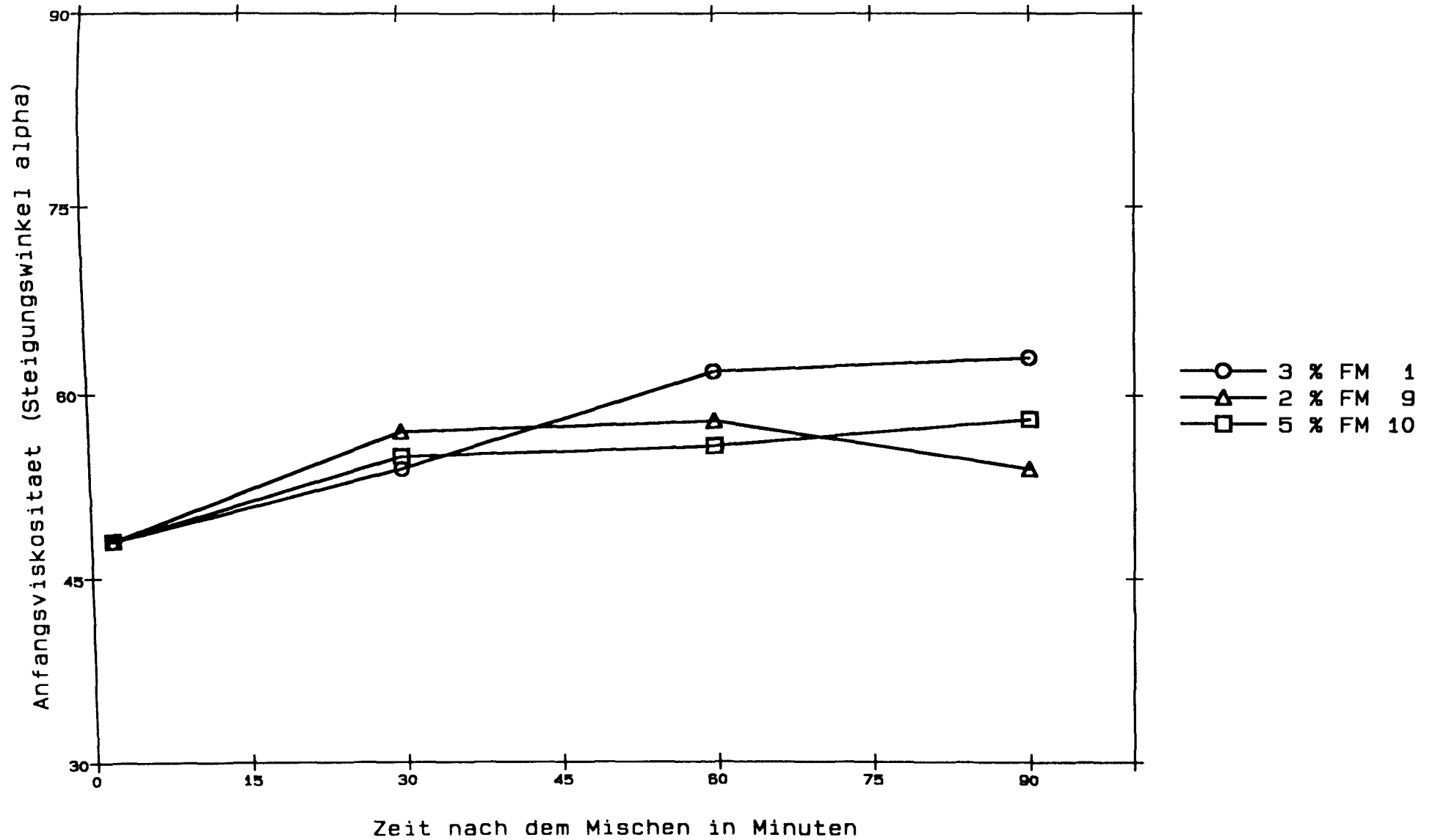
Parameter: 10 % Silika 1, FM 10, ohne EH

# Flieszgrenze



Parameter: 10 % Silika 1, FM 10, ohne EH

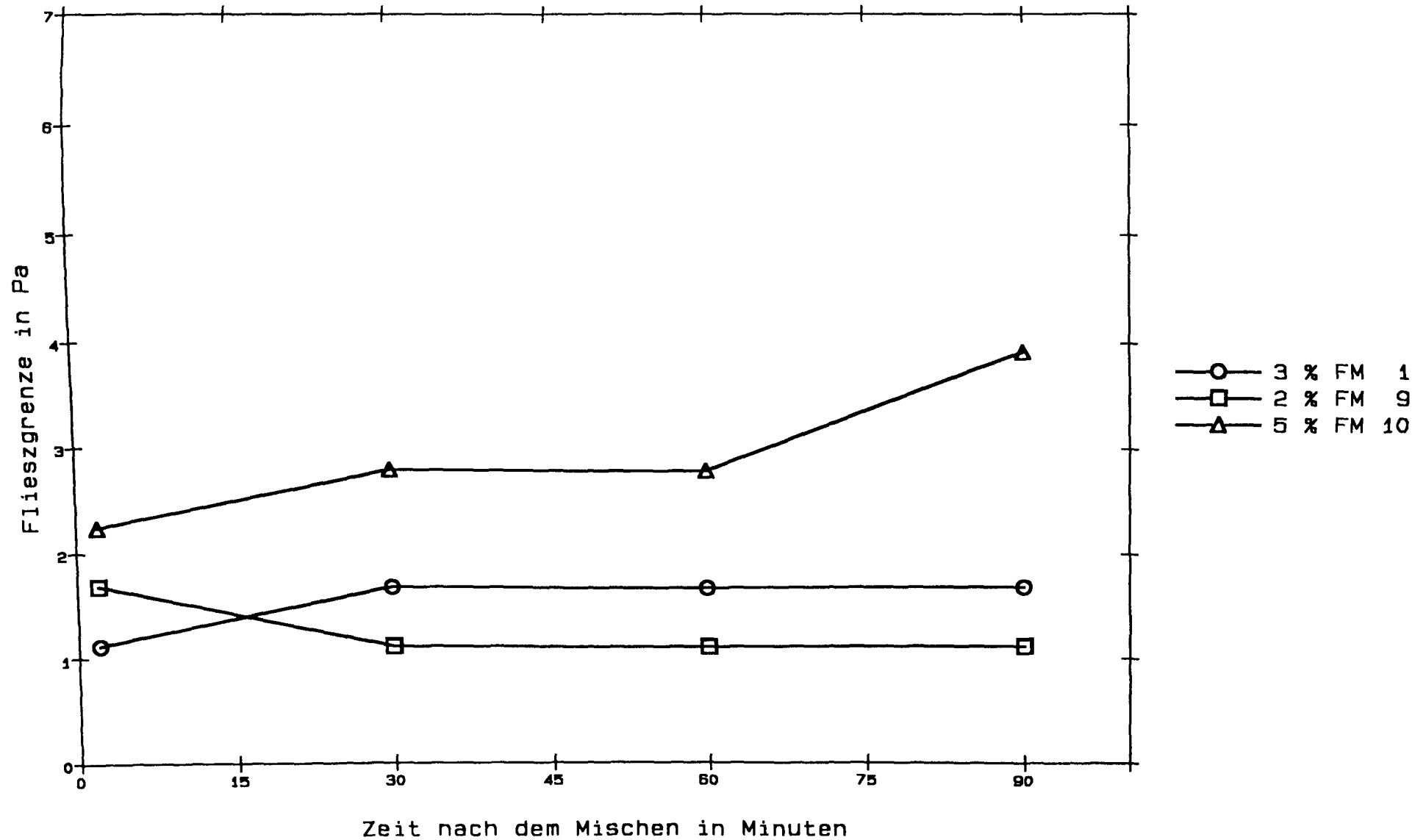
# Flieszmittel im Vergleich



Parameter: 10 % Silika 1. ohne EH

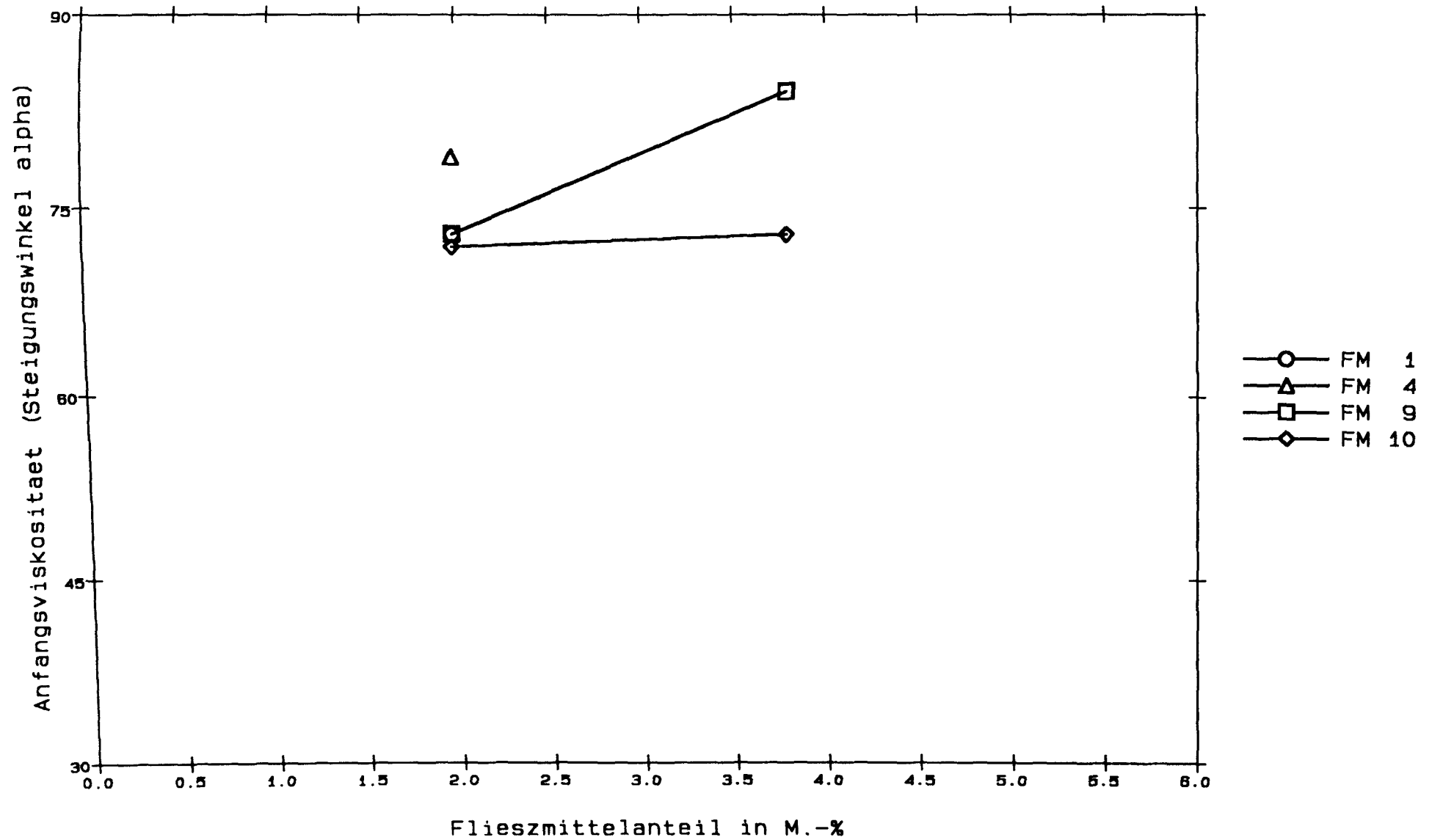


# Flieszmittel im Vergleich



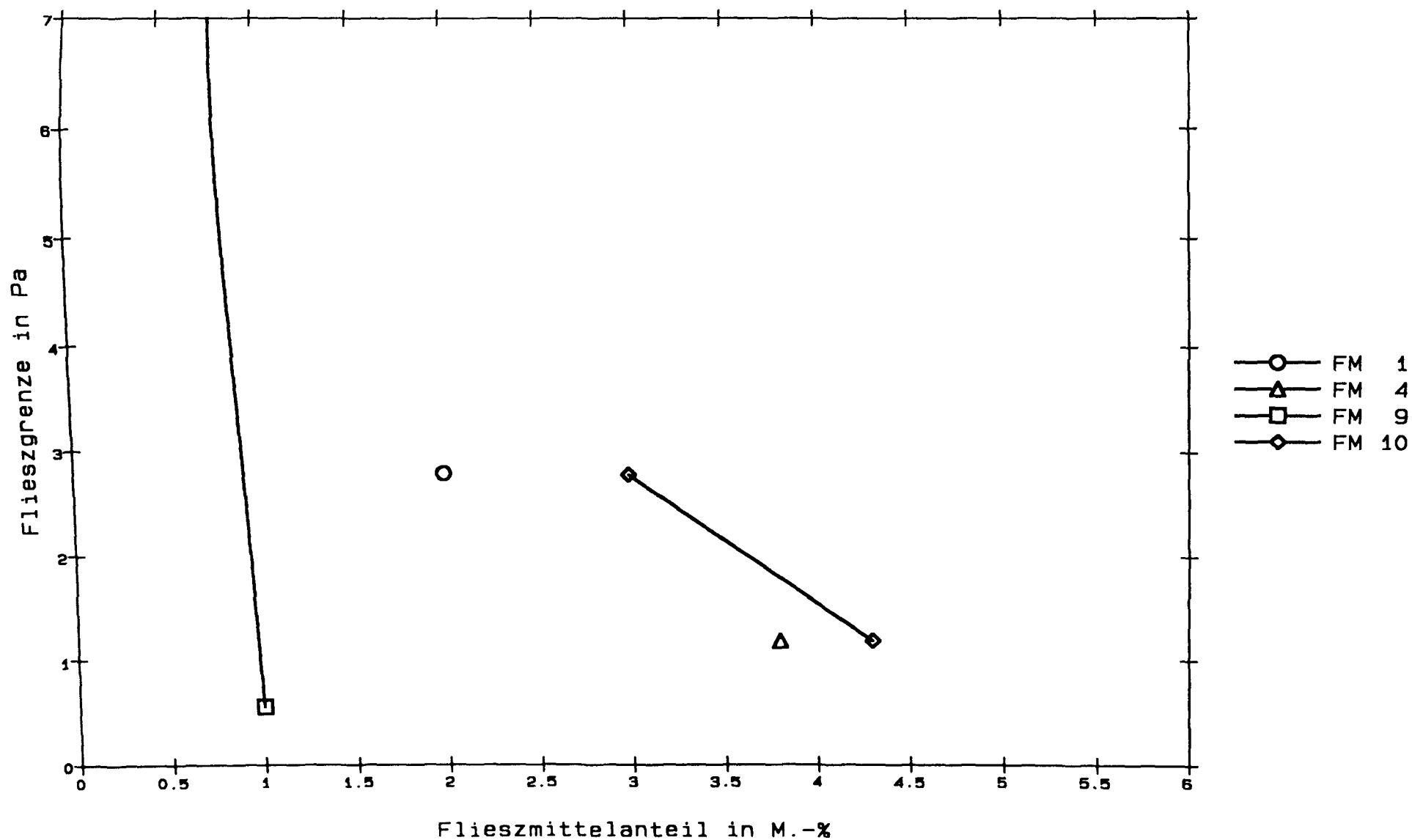
Parameter: 10 % Silika 1. ohne EH

# Flieszmittel im Vergleich



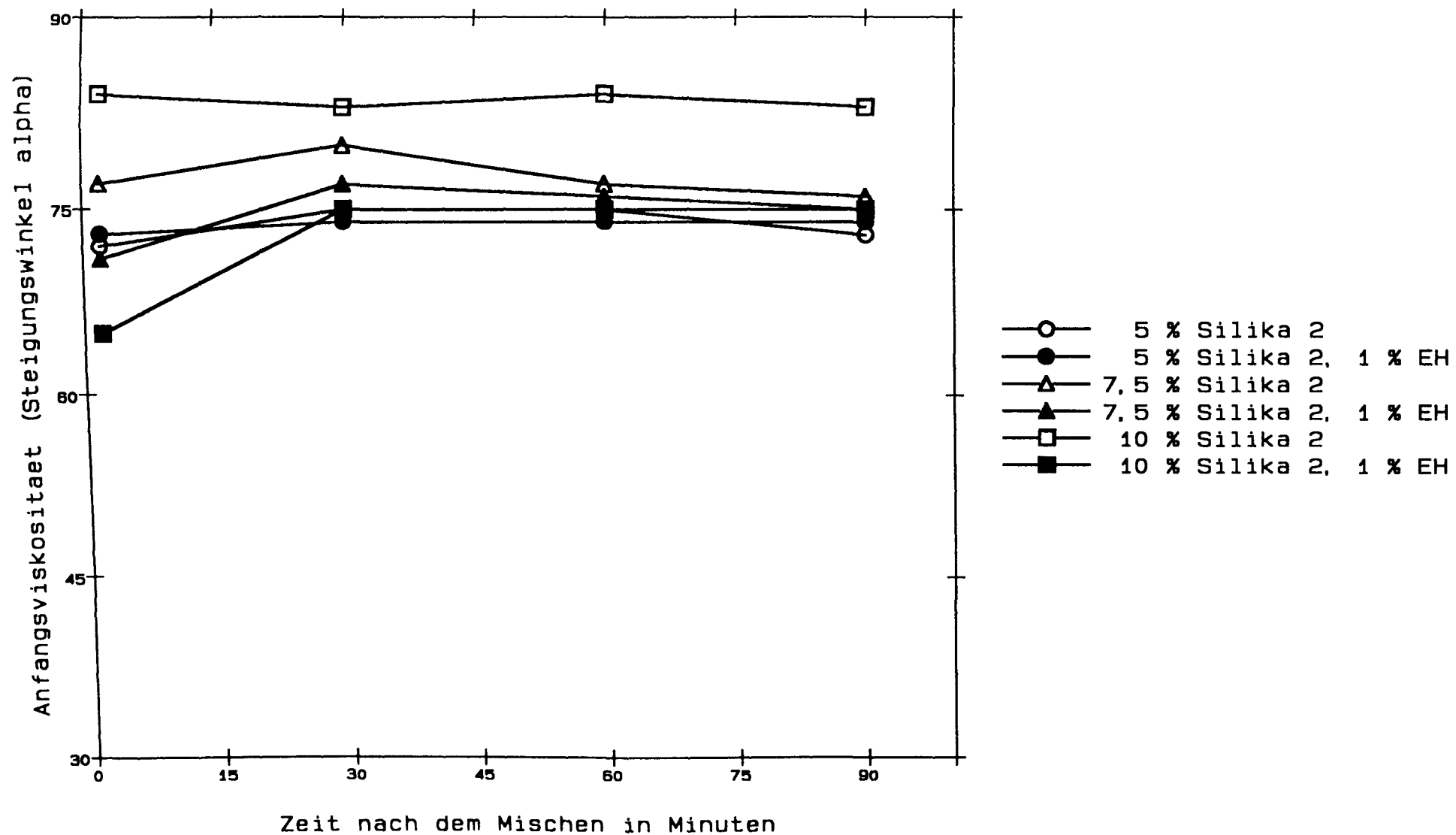
Parameter: 10 % Silika 2. ohne EH. Tauchzeit sofort nach dem Mischen

# Flieszmittel im Vergleich



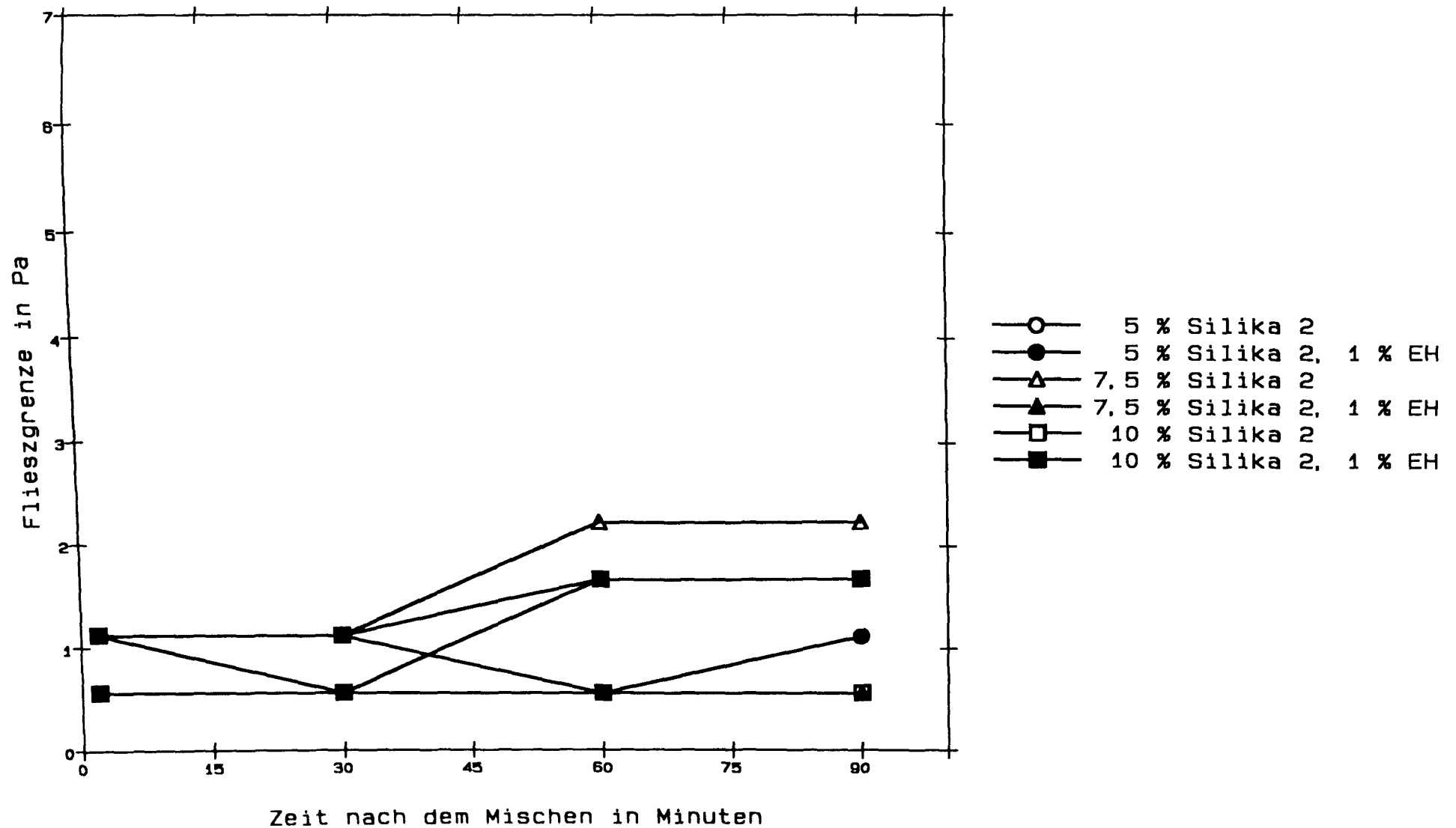
Parameter: 10 % Silika 2. ohne EH, Tauchzeit sofort nach dem Mischen

# Einfluss von Silikaanteilen und Einpreszhilfe auf die Anfangsviskosität



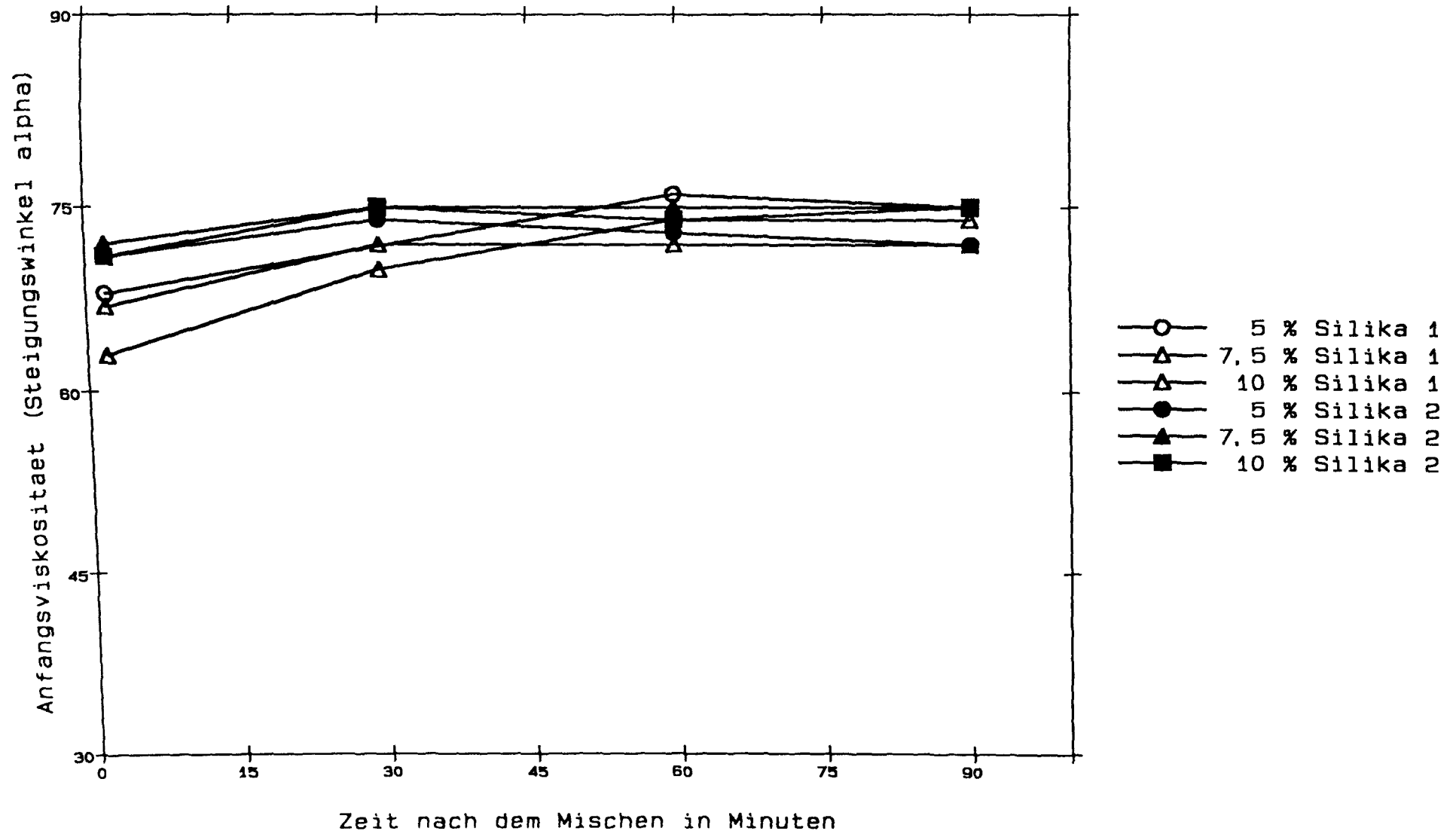
Parameter: Silika 2, 1 % FM 9

# Einfluss von Silikaanteilen und Einpresshilfe- auf die Flieszugrenze



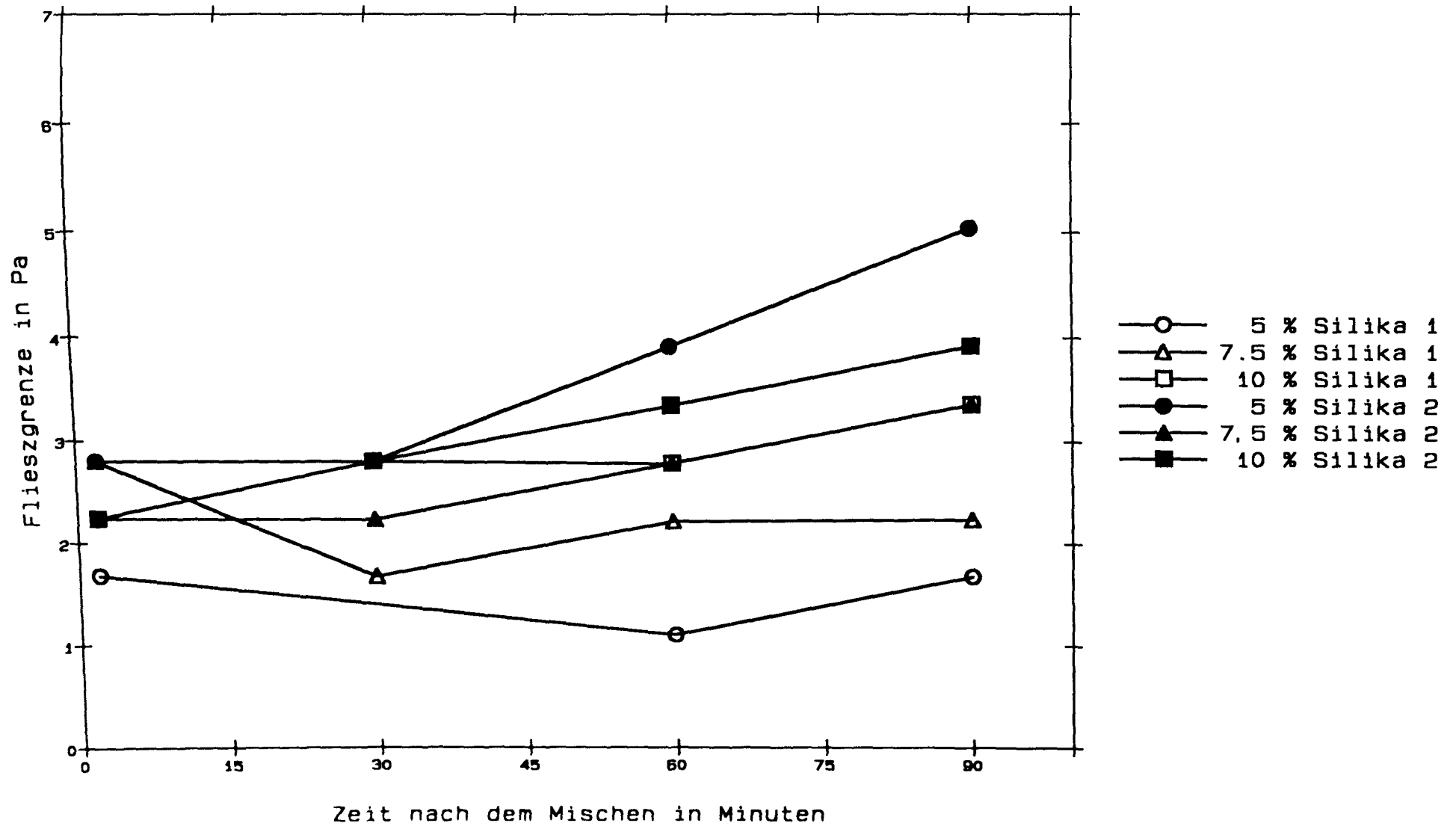
Parameter: Silika 2. 1 % FM 9

# Einfluss verschiedener Silika und Silikaanteile auf die Anfangsviskosität



Parameter: 2 % FM 1, 1 % EH

# Einfluss von verschiedenen Silika und-Silikaanteilen auf die Flieszgrenze



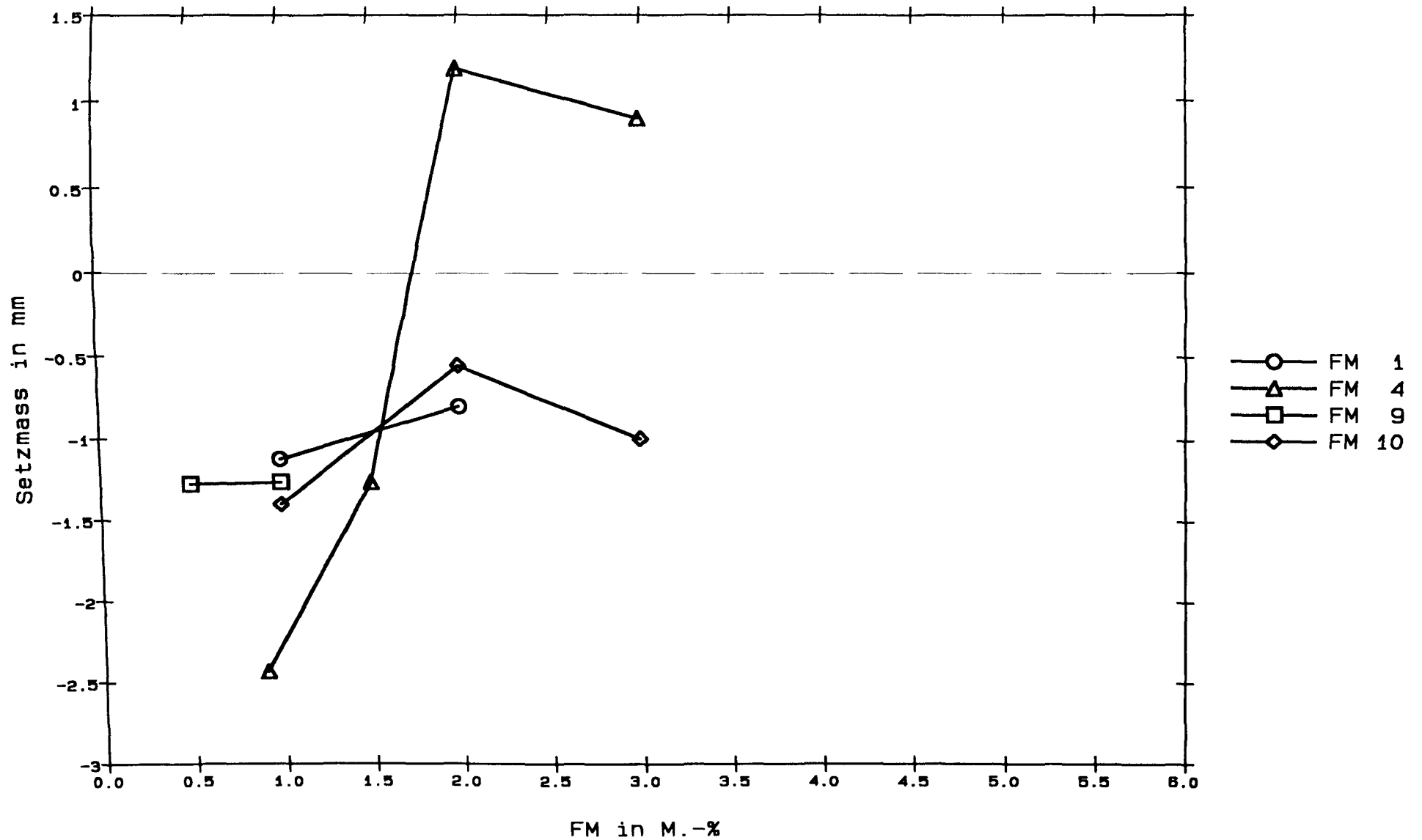
Parameter: 2 % FM 1, 1 % EH

## Raumänderung

Versuch	Setzmaß	Versuch	Setzmaß
	(mm)		(mm)
1		49	-0.55
2		50	-0.60
3	-1.14	51	-0.71
4		52	-0.68
5		53	-0.43
6		54	-0.42
7		55	-0.61
8		56	-0.63
9		57	-0.49
10	-0.93	58	-0.56
11		59	-0.79
12		60	-0.80
13		61	-1.12
14		62	-0.45
15	-0.83	63	-1.26
16	-0.89	64	-1.28
17		65	-0.66
18		66	-0.80
19	-0.57	67	-0.71
20	-0.52	68	-0.69
21		69	-0.57
22		70	-0.85
23		71	-0.58
24		72	-0.54
25	-0.63	73	-0.46
26	-0.58	74	-0.43
27	-0.94	75	0.28
28	-0.80	76	0.03
29	-2.43	77	-0.34
30		78	-0.03
31	-0.53	79	0.06
32	-0.74	80	0.34
33	-0.61	81	0.60
34	0.90	82	0.36
35	1.19	83	0.70
36	-1.26	84	0.87
37	-0.99	85	0.54
38	-0.99	86	-0.06
39	-0.71	87	0.77
40	-0.68	88	0.48
41	-0.87	89	0.64
42	-0.99	90	1.00
43	-0.93	91	1.19
44	-1.40	92	0.80
45	-0.46	93	0.90
46	-0.63	94	1.09
47	-0.64	95	1.01
48	-0.65		

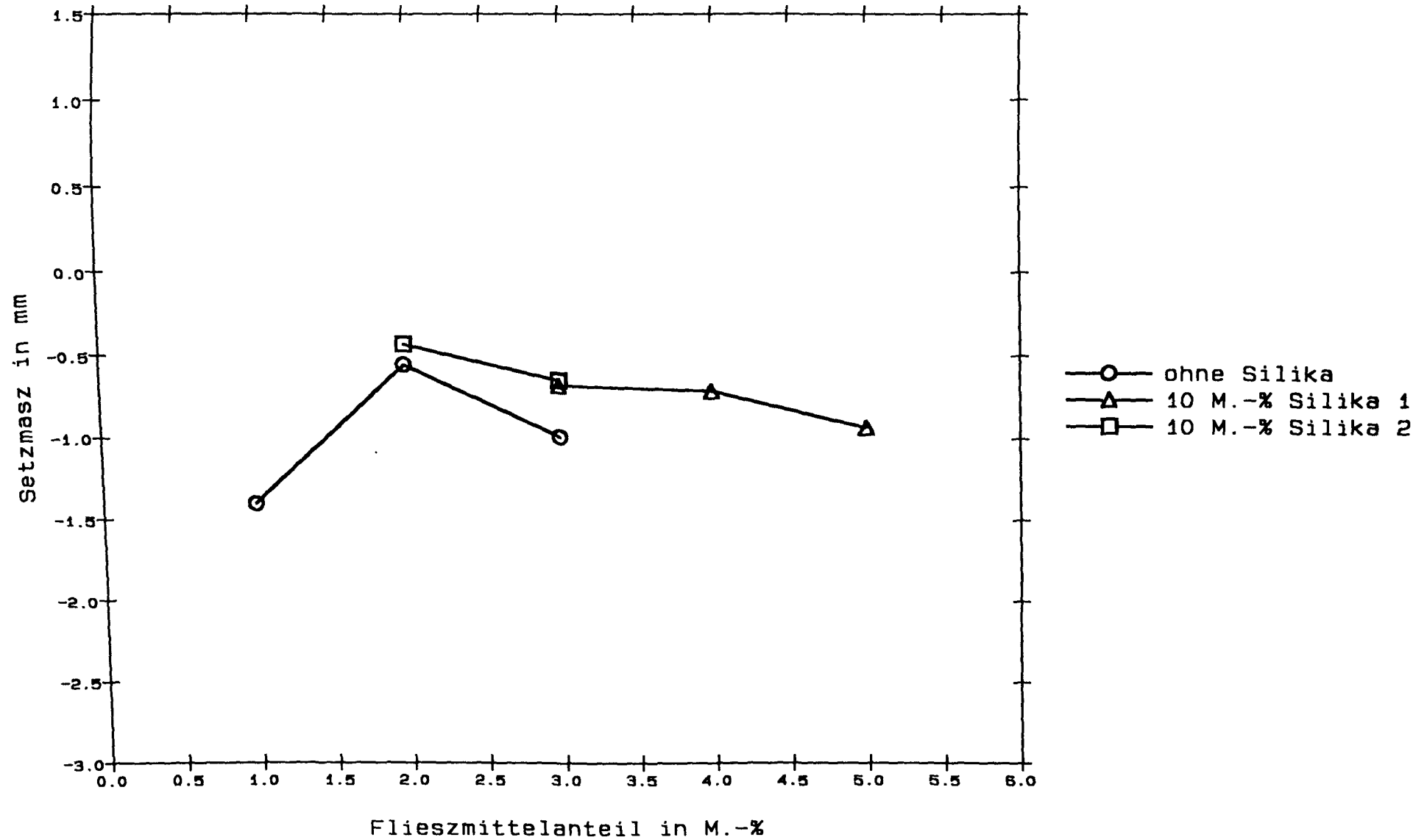


# Einfluss des FM-Anteils auf das Setzmass



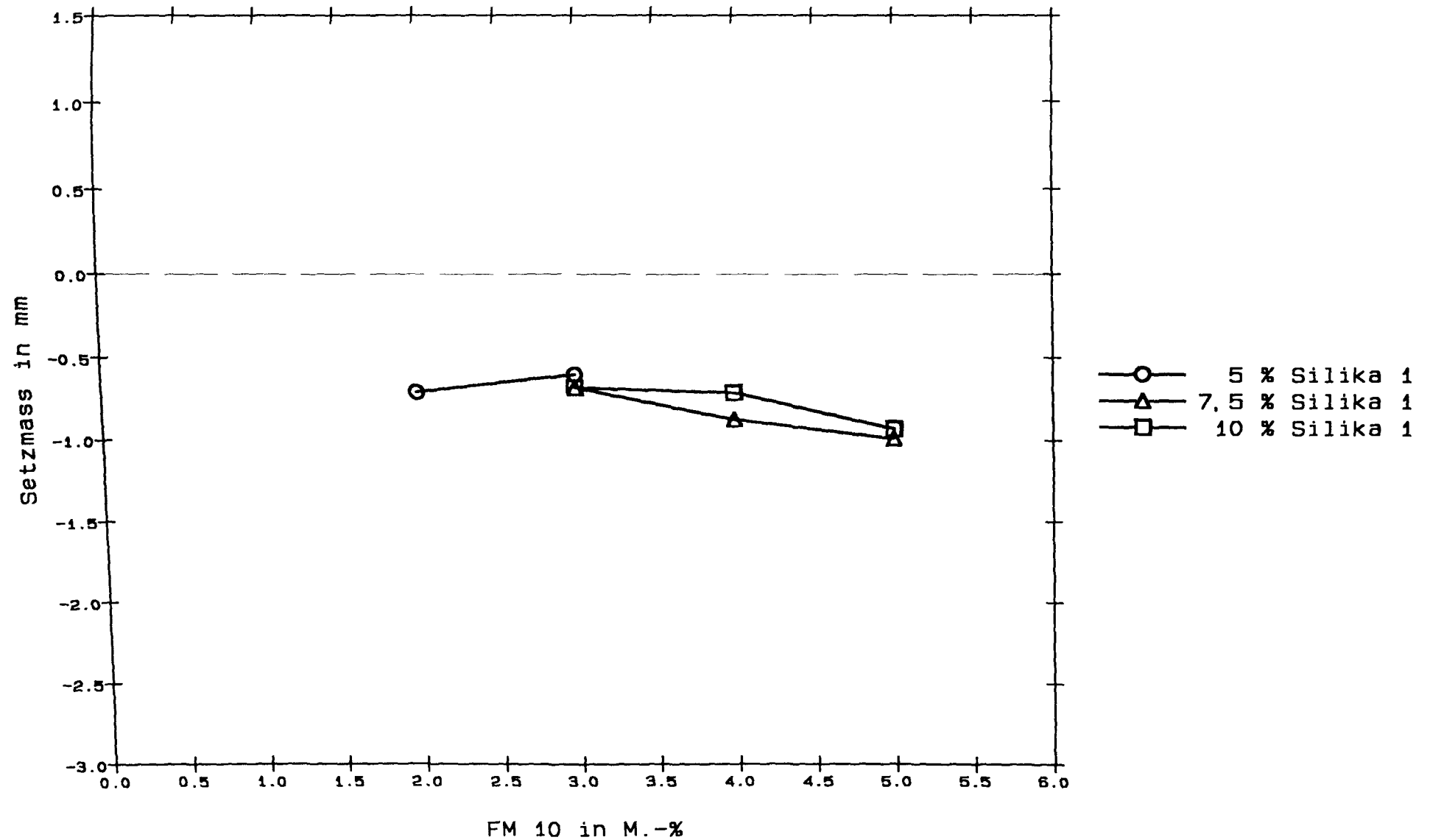
Parameter: ohne Silika, ohne EH, (Nullmoertel)

# Einfluss von Silikazugabe



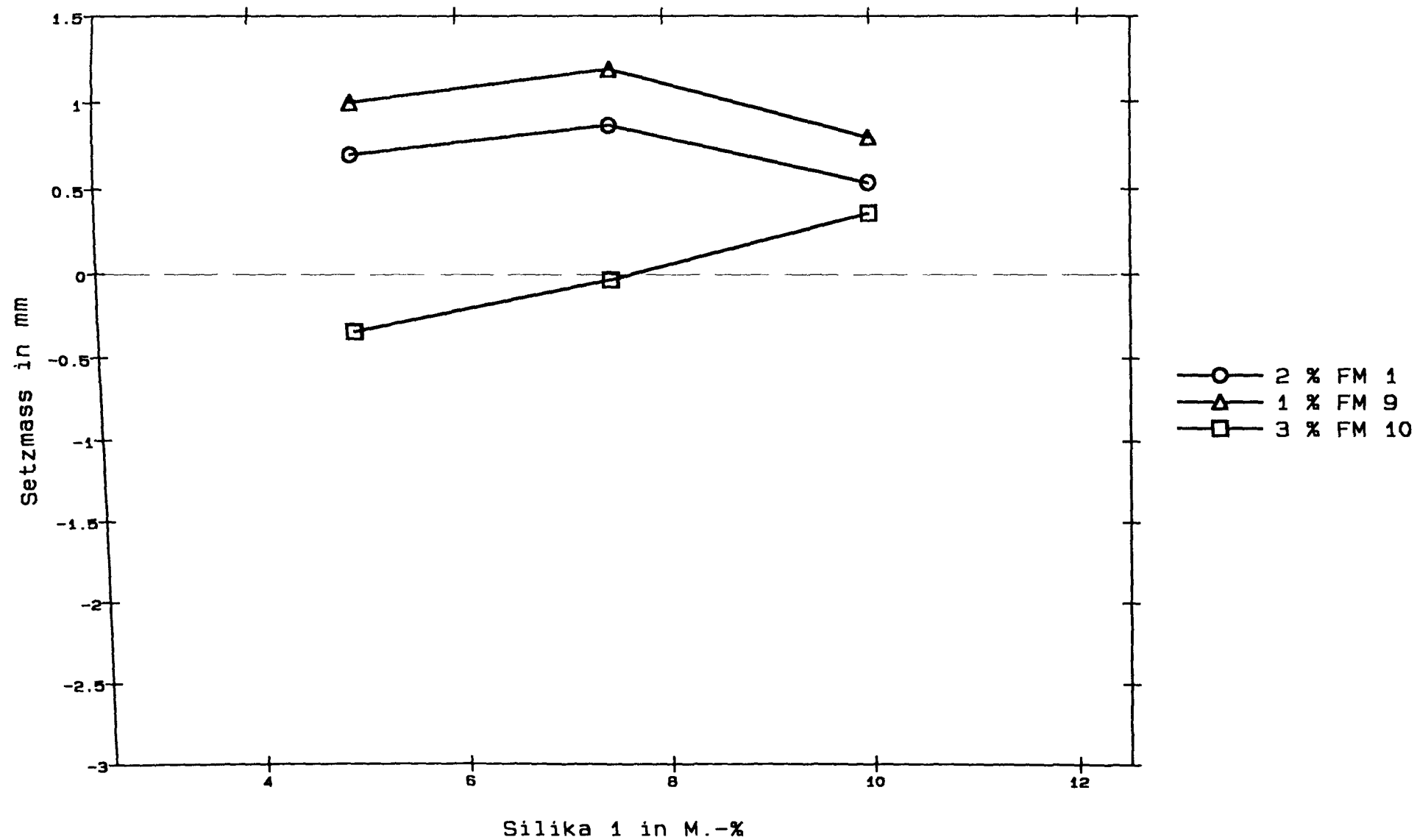
Parameter: Flieszmittel 10, ohne EH

# Einfluss des FM-Anteils auf das Setzmass



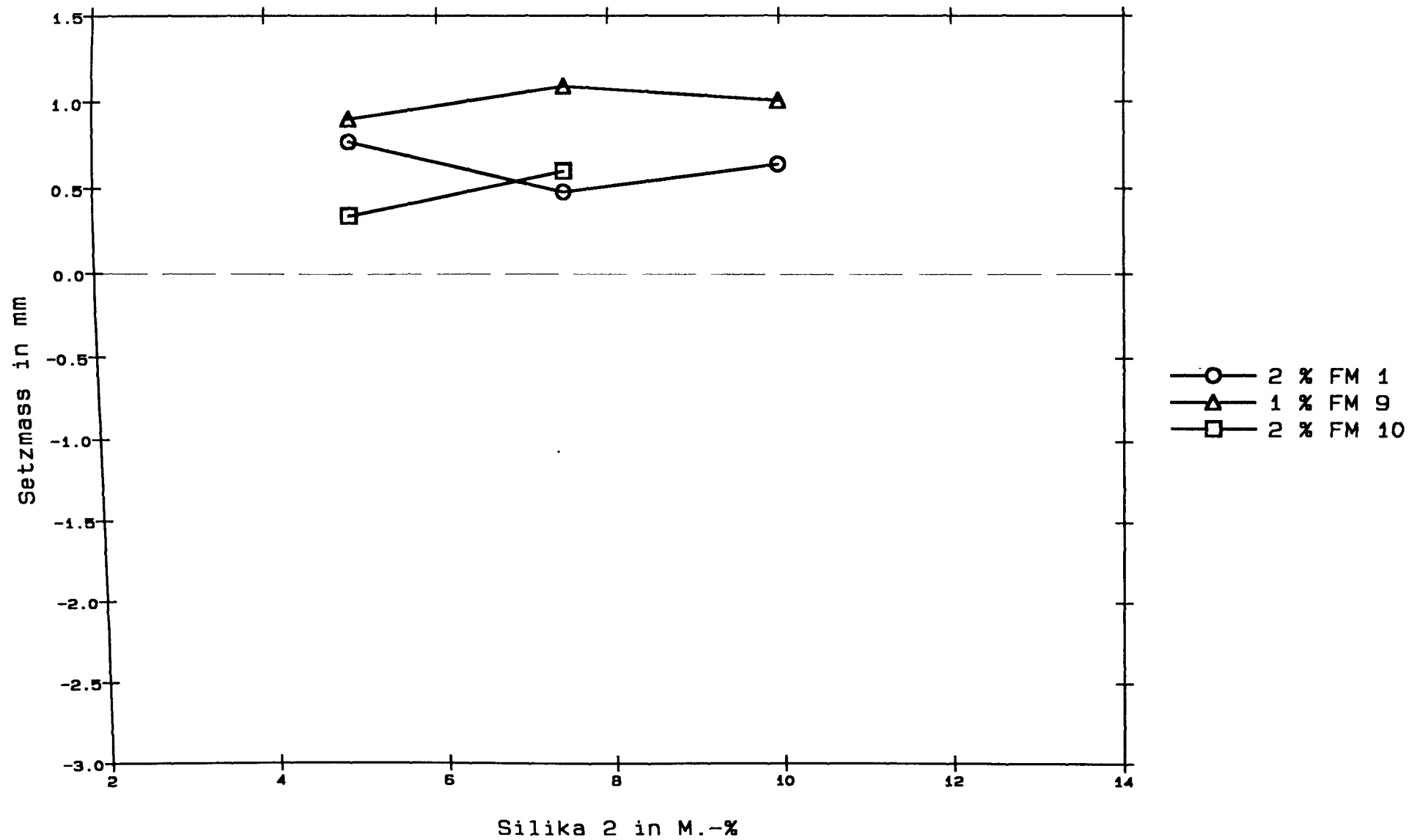
Parameter: Silika 1, FM 10, ohne EH

# Einfluss von EH und Silika 1 auf das Setzmass



Parameter: Silika 1. mit EH

# Einfuss von EH und Silika 2 auf das Setzmass

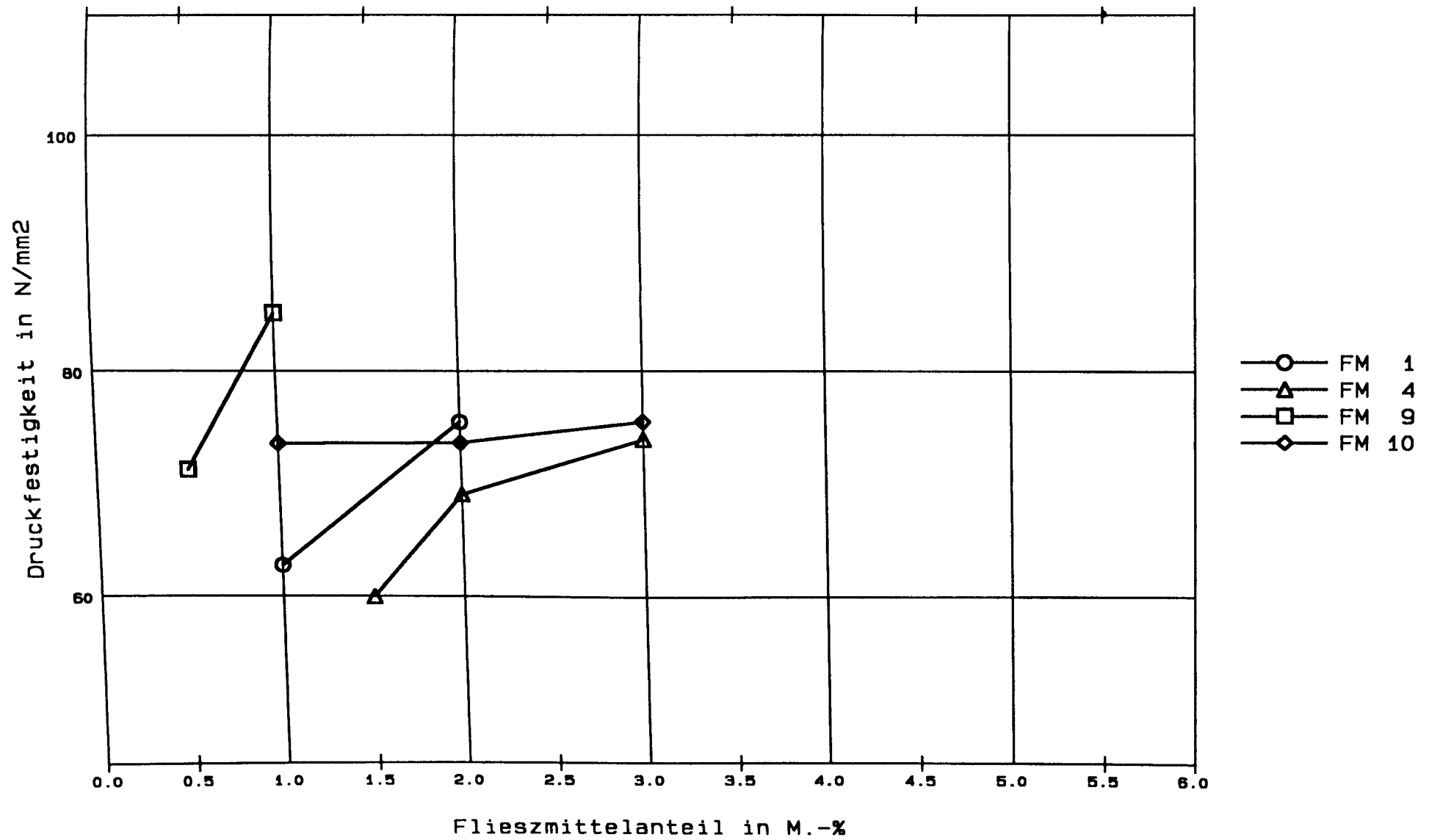


Parameter: Silika 2, mit EH

## Druckfestigkeiten

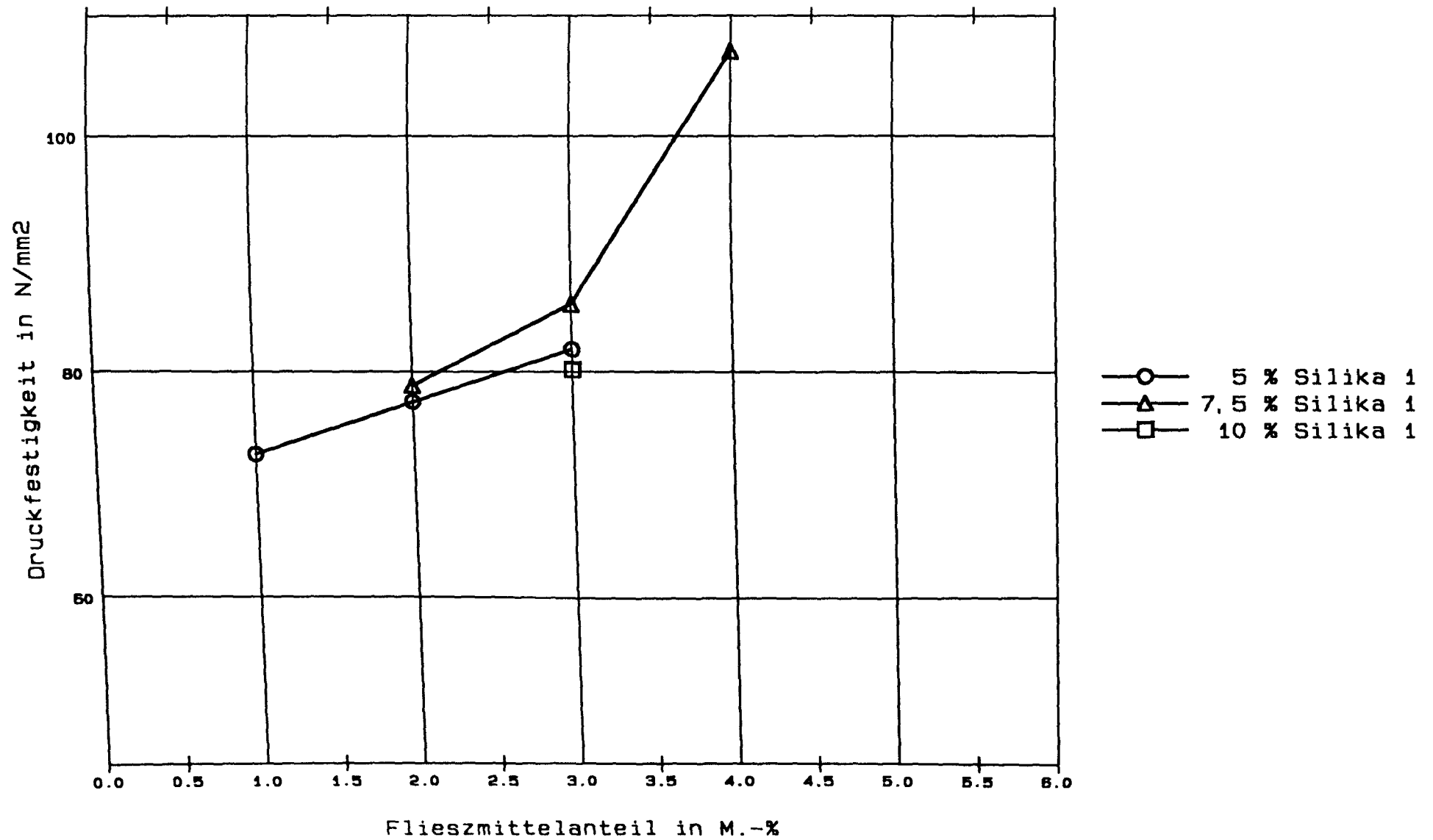
Versuch Nr.	Roh- dichte	Druckfe- stigkeit	Versuch Nr.	Roh- dichte	Druckfe- stigkeit
-	kg/dm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	-	kg/dm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	1.946	78	49	1.978	70
2			50	1.971	74
3			51	1.957	89
4			52	1.917	88
5			53	1.909	81
6			54	1.922	86
7			55	1.913	76
8			56	1.918	92
9	1.958	75	57	1.947	78
10			58	1.945	74
11			59	1.927	76
12			60	1.986	76
13			61	1.998	62
14			62	1.936	90
15			63	2.001	83
16			64	1.992	68
17	1.953	90	65	1.950	87
18			66	1.984	76
19			67	1.983	86
20			68	1.967	85
21			69	1.949	63
22			70	1.902	79
23			71	1.960	72
24			72	1.962	65
25	1.966	91	73	1.953	95
26			74	1.929	85
27			75	1.932	65
28			76	1.905	57
29			77	1.903	75
30			78	1.919	78
31			79	1.907	85
32			80	1.928	70
33	1.978	82	81	1.926	58
34			82	1.948	71
35			83	1.923	54
36			84	1.918	51
37			85	1.923	56
38			86	1.908	59
39			87	1.954	53
40			88	1.937	66
41	1.974	98	89	1.937	56
42			90	1.928	56
43			91	1.921	54
44			92	1.921	54
45			93	1.937	54
46			94	1.932	60
47			95	1.923	60
48	1.966	94			

# Einfluss der Fließmittelanteile auf die Druckfestigkeit



Parameter: ohne Silika, ohne EH

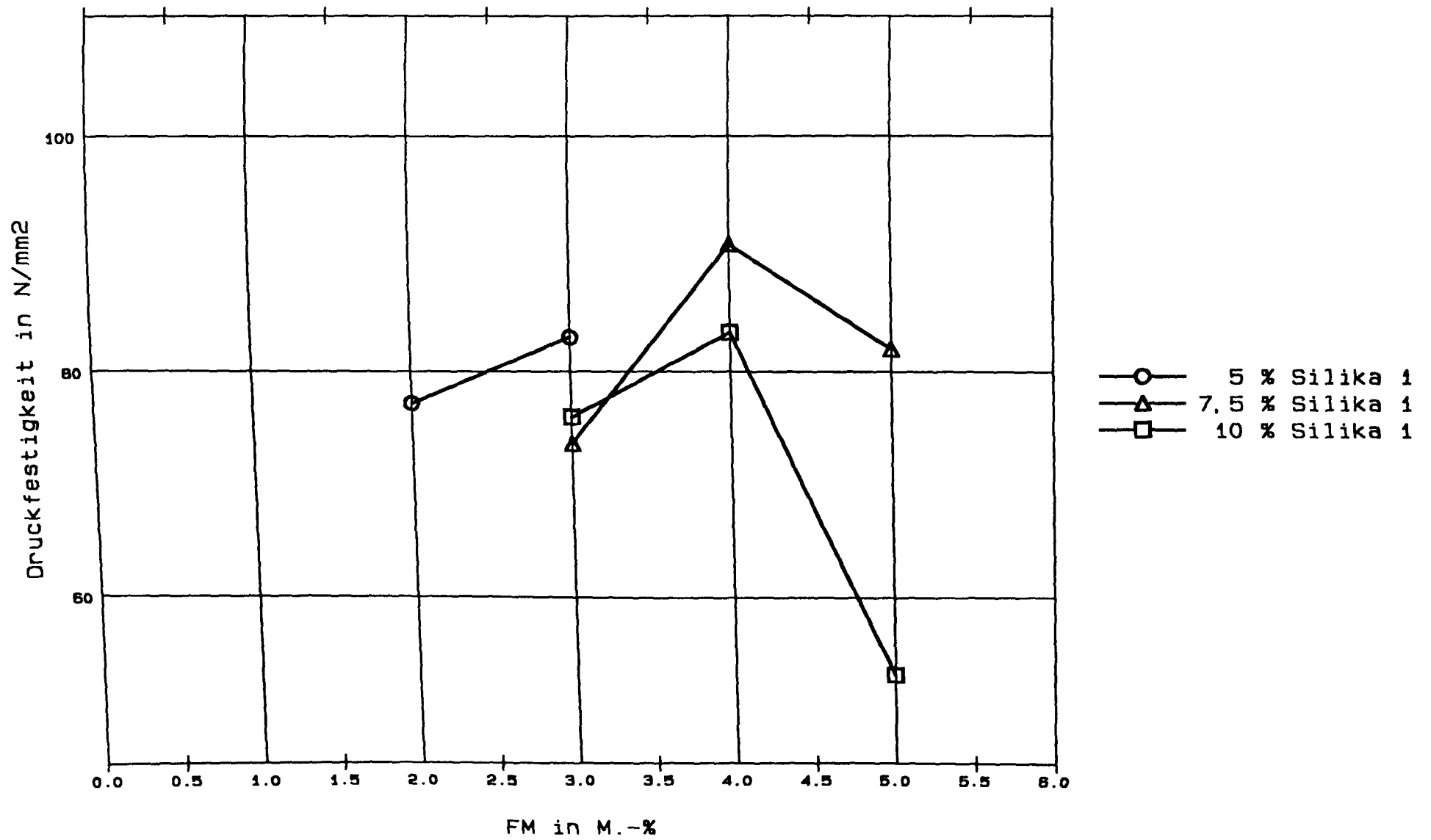
# Einfluss verschiedener Silikaanteile auf die Druckfestigkeit



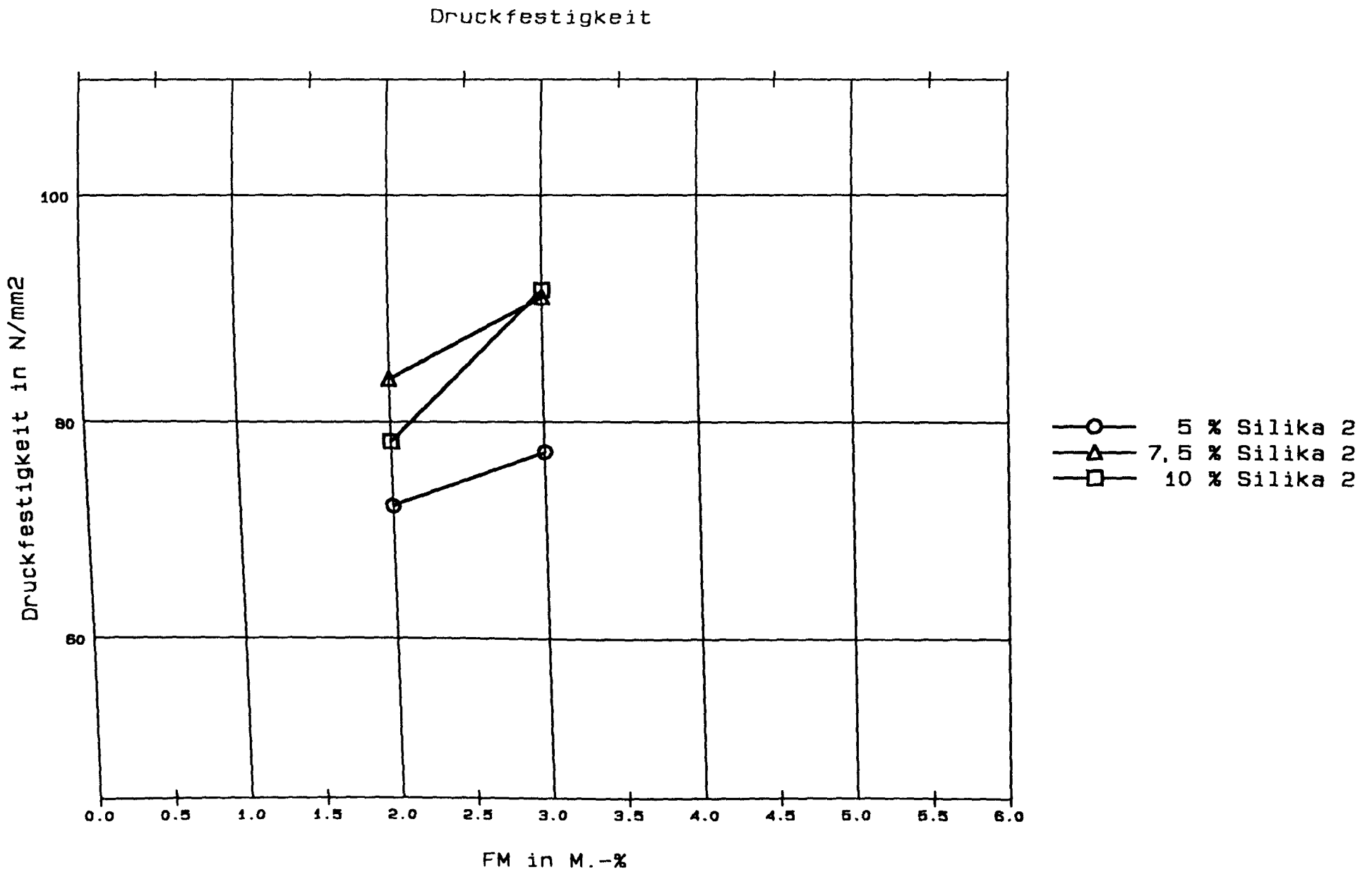
Parameter: Silika 1. FM 1. ohne EH



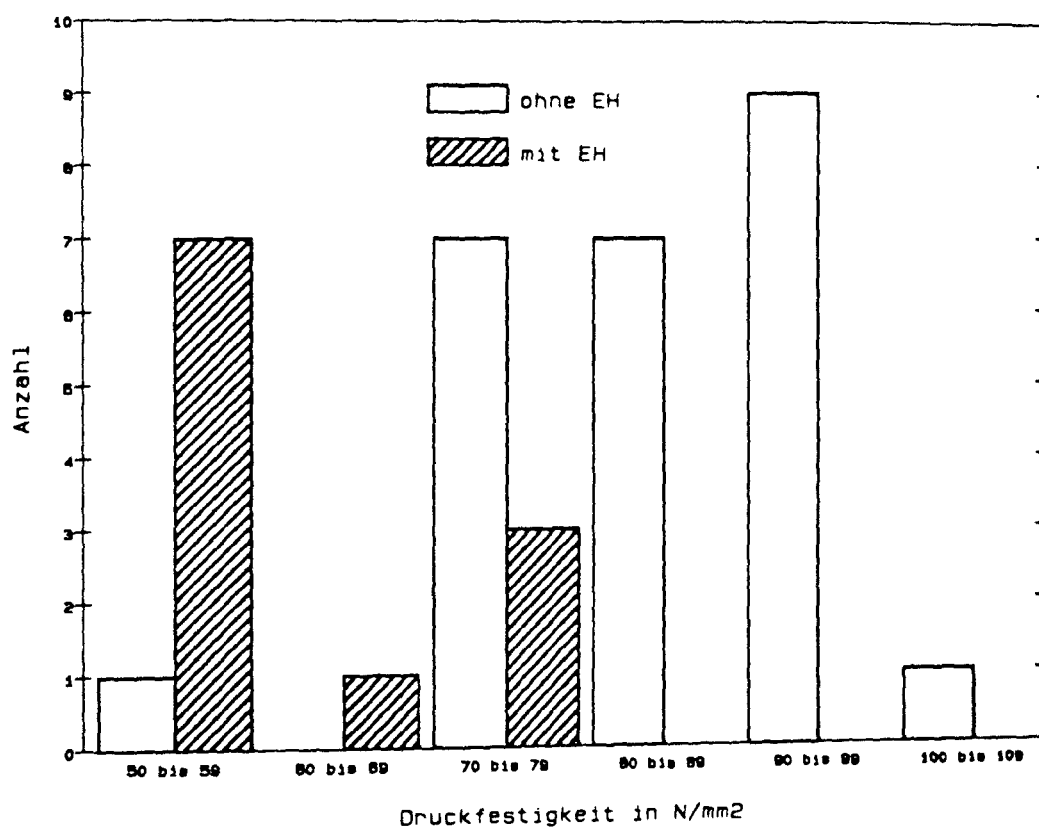
# Druckfestigkeiten



Parameter: Silika 1, FM 10



Verteilung von Druckfestigkeiten des Einpressmoertels  
mit Silika 1 mit und ohne EH



Verteilung von Druckfestigkeiten des Einpressmoertels  
mit Silika 2 mit und ohne EH

